

Analisis Perbandingan Pembuatan Briket Sekam Padi melalui Burner dan Reduksi Emisi Karbon Monoksida Menggunakan Burner Terintegrasi Wet Scrubber pada Set Mesin Produksi Briket

EGA NUGRAHA FIRDAUS¹, DAVINA LUTHFIYAH HARYADI²

¹Politeknik Manufaktur Bandung, Indonesia
Email: 223412037@mhs.polman-bandung.ac.id

Received 30 November 201x | Revised 30 Desember 201x | Accepted 30 Januari 201x

ABSTRAK

Briket sekam padi berpotensi sebagai sumber energi terbarukan untuk mengurangi emisi karbon dan memanfaatkan limbah pertanian. Namun, pembakaran manual dan penggunaan burner konvensional pada skala produksi kecil-menengah masih menghasilkan emisi karbon monoksida (CO) yang tinggi, sehingga berisiko terhadap kesehatan dan kualitas udara serta menghambat penerapannya sebagai energi berkelanjutan. Penelitian ini membandingkan pembakaran sekam padi menggunakan burner standar dan burner terintegrasi wet scrubber pada sistem mesin produksi briket yang terdiri dari grinder, extruder, dan burner. Metode penelitian meliputi perancangan berbasis CAD, pembuatan prototipe, serta pengujian efisiensi pembakaran dan emisi CO. Hasil menunjukkan bahwa burner standar menghasilkan emisi CO rata-rata sebesar 420 ppm, sedangkan burner terintegrasi wet scrubber menurunkannya menjadi 260 ppm atau berkurang sebesar 39%. Massa CO juga menurun dari 4,580 g/batch menjadi 2,430 g/batch, disertai peningkatan efisiensi pembakaran hingga 77%. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi wet scrubber efektif dalam menekan emisi CO dan meningkatkan keberlanjutan pemanfaatan briket sekam padi sebagai sumber energi alternatif.

Kata kunci: Briket sekam padi, burner, wet scrubber, emisi CO, energi terbarukan

ABSTRACT

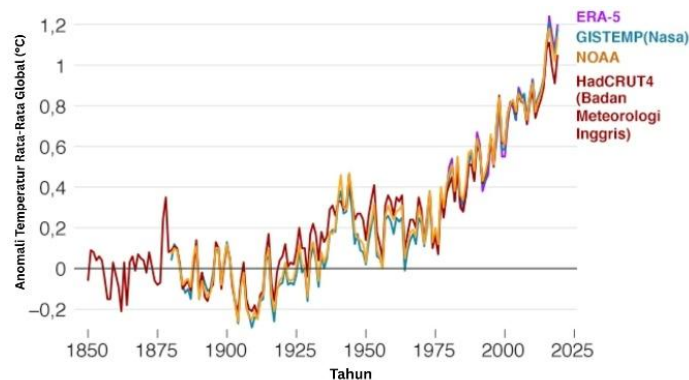
Rice husk briquettes have potential as a renewable energy source to reduce carbon emissions and utilize agricultural waste. However, manual combustion and conventional burners used in small- to medium-scale production still generate high carbon monoxide (CO) emissions, posing risks to human health and air quality and limiting their adoption as a sustainable energy source. This study compares rice husk combustion using a standard burner and a burner integrated with a wet scrubber in a briquette production system consisting of a grinder, extruder, and burner. The research methods include CAD-based design, prototype fabrication, and testing of combustion efficiency and CO emissions. The results show that the standard burner produces an average CO emission of 420 ppm, while the wet scrubber-integrated burner reduces it to 260 ppm, representing a 39% reduction.

The CO mass decreases from 4.580 g/batch to 2.430 g/batch, accompanied by an increase in combustion efficiency to 77%. These findings demonstrate that wet scrubber integration is effective in reducing CO emissions and enhancing the sustainability of rice husk briquettes as an alternative energy source.

Keywords: rice husk briquettes, burner, wet scrubber, CO emissions, renewable energy.

1. PENDAHULUAN

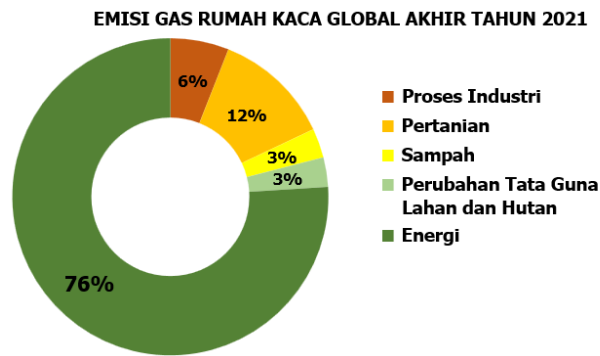
Keberlangsungan makhluk hidup di bumi sangat ditentukan oleh kondisi lingkungan, terutama iklim yang mengatur pertumbuhan tumbuhan, adaptasi hewan, hingga aktivitas manusia. Iklim merupakan rata - rata karakteristik atmosfer seperti suhu udara, curah hujan, dan angin dalam rentang waktu bulanan, tahunan, hingga jutaan tahun (Melo & Rahmadani, 2022). Namun dalam beberapa dekade terakhir, kestabilan iklim mulai terganggu, ditandai oleh peningkatan suhu global sebagai bukti nyata perubahan iklim yang sedang terjadi. World Meteorological Organization (WMO) melaporkan bahwa tahun 2024 menjadi tahun terpanas sepanjang sejarah. Sejalan dengan itu, IPCC pada tahun 2023 mencatat bahwa suhu rata - rata permukaan bumi pada periode 2011 - 2020 telah meningkat sekitar $1,1^{\circ}\text{C}$ dibandingkan masa pra - industri yaitu pada periode 1850 – 1900 (Calvin dkk., 2023). Peningkatan suhu tersebut tidak terlepas dari akumulasi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan aktivitas manusia dalam skala besar. Maka dari itu negara - negara dengan jumlah penduduk tinggi dan tingkat industrialisasi pesat tercatat sebagai penyumbang emisi karbon terbesar (Ardiansyah dkk., 2025). Pada Gambar 1. Dibawah ini merupakan gambar grafik kenaikan temperatur sejak 1850 yang diambil dari BBC News dengan data dari Badan Meteorologi Inggris yang menunjukkan tingkat perubahan suhu rata – rata global dari era pra – industri, dalam $^{\circ}\text{C}$.



Gambar 1. Kenaikan Temperatur Sejak 1850

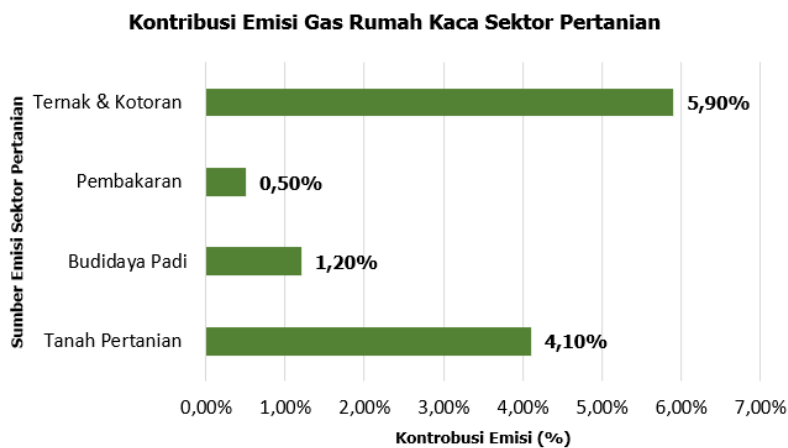
Dalam konteks tersebut, Indonesia turut menjadi salah satu kontributor signifikan terhadap emisi global. Pada 2023, emisi karbon Indonesia mencapai lebih dari 704,4 juta ton dan menempatkannya sebagai penghasil emisi keenam terbesar di kawasan Asia Pasifik. Laporan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2021 menyebutkan bahwa sektor energi menjadi penyumbang emisi terbesar, disusul oleh industri, kehutanan, pertanian, dan limbah (Sutanhaji dkk., 2018). Ketergantungan pada bahan bakar fosil untuk memenuhi kebutuhan energi menjadi salah satu faktor utama, dimana pembakaran fosil menghasilkan gas rumah kaca seperti karbon monoksida (CO) yang berperan dalam memperparah efek rumah kaca dan pemanasan global (Irma & Gusmira, 2024)

Analisis Optimalisasi Pembuatan Briket Sekam Padi melalui Reduksi Emisi Karbon Monoksida (CO)
Menggunakan Wet Scrubber pada Set Mesin Produksi Briket



Gambar 2. Diagram Emisi Gas Berbagai Sektor

Di samping sektor energi, sektor pertanian juga memberikan kontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca. Data World Research Institute (2021) mencatat pertanian menjadi penyumbang terbesar kedua, di mana kegiatan budidaya padi menyumbang hingga 1,2% dari total emisi global. Salah satu penyebabnya adalah limbah sekam padi yang sering diabaikan dan dibakar terbuka, sehingga menghasilkan gas berbahaya termasuk CO (Fathia dkk., 2024)



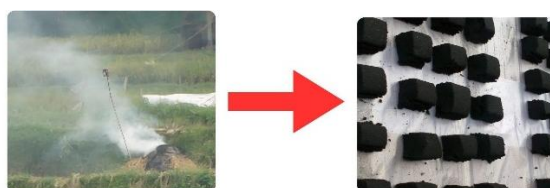
Gambar 3. Diagram Emisi Gas Pertanian

Padahal, produksi padi Indonesia cukup tinggi, berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik terdapat sekitar 59,2 juta ton gabah kering giling pada tahun 2018. Produksi tersebut sempat mengalami penurunan pada tahun – tahun berikutnya, namun kembali menunjukkan tren peningkatan hingga tahun 2024. Hal tersebut berbanding lurus dengan bertambahnya volume limbah sekam padi, yang apabila tidak dikelola dengan baik berpotensi menjadi sumber pencemar udara (Purwadinata dkk., 2022)



Gambar 4. Grafik Produksi Beras Di Indonesia

Di sisi lain, sekam padi sebenarnya memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan berbasis biomassa. Pemanfaatan biomassa telah lama diakui oleh PBB dan US Energy Information Administration (EIA) sebagai salah satu energi alternatif yang ramah lingkungan dan tersedia melimpah (Kulikova et al., 2022). Oleh karena itu, optimalisasi sekam padi menjadi bahan bakar alternatif, misalnya dalam bentuk briket, tidak hanya mendukung pengurangan limbah pertanian tetapi juga sejalan dengan kebijakan nasional melalui Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah serta pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) poin ke-13 tentang aksi iklim (Fathonah et al., 2023).



Gambar 5. Limbah Sekam Padi Menjadi Briket

Namun, proses konversi sekam padi menjadi briket masih menghadapi tantangan. Metode tradisional yang dilakukan secara manual cenderung menghasilkan emisi CO tinggi karena tidak dilengkapi sistem pengendalian emisi. Alternatif modern berupa pemanfaatan mesin produksi seperti grinder, extruder, dan burner mulai dikembangkan untuk menghasilkan briket dengan kualitas lebih baik sekaligus mengurangi pencemaran udara. Teknologi dipadukan dalam set mesin ini adalah wet scrubber, dimana wet scrubber ini menjadi bagian dari mesin burner yang berfungsi sebagai perangkat pengendali polusi udara berbasis absorpsi gas buang dengan larutan cair. Wet scrubber merupakan perangkat pengendali polusi udara yang berfungsi menghilangkan kandungan kotoran dari gas buang maupun aliran gas lainnya melalui kontak langsung dengan media cair (Warke dkk., 2025).

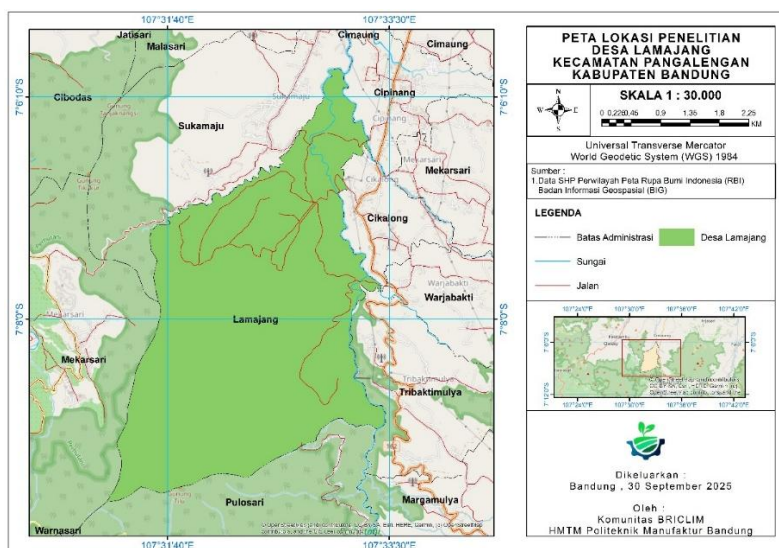
Sejumlah penelitian menunjukkan efektivitas wet scrubber dalam menurunkan emisi CO. (Damayanti & Hendrasarie, 2025) melaporkan bahwa penggunaan larutan KOH 6N dengan media pall ring setinggi 40 cm dapat menurunkan kadar CO hingga 97,9% dan memenuhi baku mutu emisi sesuai PP No. 22 Tahun 2021 (400 ppm). Absorben lain seperti NaOH juga mampu menurunkan CO hingga 91,8%, sedangkan air (H₂O) sebagai pembanding hanya mampu menurunkan sekitar 56,9%. Temuan ini menunjukkan bahwa teknologi wet scrubber pada mesin burner berpotensi diterapkan dalam produksi briket sekam padi untuk

meminimalisasi dampak lingkungan. Meskipun demikian, kajian tentang efektivitas wet scrubber khususnya pada konteks produksi briket sekam padi masih terbatas. Beberapa penelitian lebih banyak berfokus pada pengendalian partikel halus, bukan pada gas seperti CO (Ramaswamy et al., 2022). Selain itu, rancangan mesin burner yang ada belum secara khusus diintegrasikan dengan wet scrubber untuk pengendalian emisi (Bianchini, 2018). Dengan adanya kesenjangan penelitian tersebut, diperlukan analisis komprehensif mengenai reduksi emisi CO pada proses produksi briket berbasis sekam padi menggunakan sistem mekanis yang terintegrasi dengan wet scrubber. Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji optimalisasi pembuatan briket sekam padi dengan memanfaatkan teknologi wet scrubber yang dipasang pada mesin burner dalam set mesin produksi. Melalui penelitian ini diharapkan diperoleh gambaran menyeluruh mengenai efektivitas sistem dalam menurunkan emisi karbon monoksida sekaligus memberikan rekomendasi teknologi yang aplikatif sebagai upaya pengendalian emisi dan pemanfaatan limbah sekam padi secara berkelanjutan.

2. METODE

2.1 Gambaran Umum

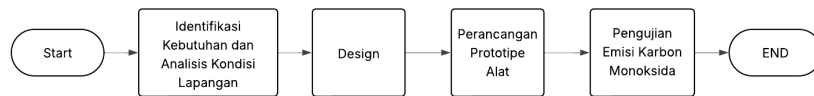
Kegiatan penelitian ini bertempat di Desa Lamajang, Kecamatan Pangalengan, Kabupaten Bandung, dengan luas wilayah 4.016,091 Ha dan ketinggian 900 - 1.200 mdpl. Secara administratif, Desa Lamajang terdiri atas 4 dusun, 23 RW, dan 92 RT, dengan penggunaan lahan yang meliputi pertanian lahan kering seluas 1.001 Ha, perkebunan 1.730 Ha, permukiman 2.006 Ha, kolam 4 Ha, serta fasilitas desa lainnya seluas 2.145 Ha. Wilayah ini beriklim basah dengan curah hujan rata - rata sekitar 1.700 mm/tahun dan suhu udara sekitar 30 derajat C. Sebagian besar penduduknya menggantungkan hidup pada sektor pertanian, terutama komoditas padi. Kondisi tersebut menjadikan limbah sekam padi tersedia melimpah pada setiap musim panen. Namun, pemanfaatannya selama ini masih cenderung dilakukan dengan pembakaran terbuka yang menghasilkan emisi gas rumah kaca, khususnya karbon monoksida (CO). Sebagai penunjang deskripsi lokasi penelitian, pada Gambar 6. Ditampilkan peta lokasi penelitian yaitu Desa Lamajang.



Gambar 6. Peta Lokasi Penelitian

Penelitian ini menganalisis optimalisasi pembuatan briket sekam padi dengan fokus pada upaya reduksi emisi karbon monoksida (CO) melalui penerapan wet scrubber pada set mesin produksi briket. Rangkaian tahapan penelitan, ditampilkan pada Gambar 7. dalam bentuk

flowchart meliputi identifikasi kebutuhan dan analisis kondisi lapangan, perancangan prototipe alat, hingga pengujian emisi karbon monoksida melalui pembakaran briket.



Gambar 7. Tahapan Kegiatan Penelitian

Penelitian ini juga membandingkan proses produksi dengan penggunaan mesin burner yang dilengkapi wet scrubber dan mesin burner yang tidak menggunakan wet scrubber untuk menilai sejauh mana teknologi tersebut dapat menurunkan emisi karbon monoksida (CO) melalui proses produksi briket.

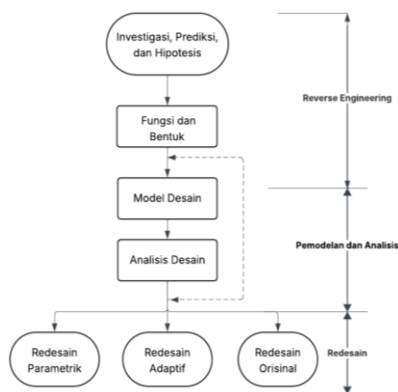
2.2 Pendekatan penelitian

Dalam Penelitian ini, proses produksi dan pengujian briket sekam padi dilakukan dengan fokus pada tahap pembakaran, di mana wet scrubber dipasang pada mesin burner untuk mengendalikan emisi yang dihasilkan. Tujuan utama pendekatan ini adalah untuk mengetahui sejauh mana penerapan wet scrubber dapat menurunkan kadar karbon monoksida (CO) selama pembakaran briket, serta kualitas mutu briket yang dihasilkan. Tahapan penelitian dimulai dengan pembakaran sekam padi dalam mesin burner. Pada saluran keluaran gas, sistem wet scrubber dipasang dengan fungsi menangkap debu dan menyerap gas karbon monoksida (CO) menggunakan semprotan nozzle yang menyemburkan air. Wet scrubber dipasang sejak awal pembakaran agar emisi yang dihasilkan dapat langsung dikendalikan sehingga gas buang yang dilepaskan ke lingkungan lebih aman. Penerapan teknologi wet scrubber pada tahap pembakaran bertujuan untuk menurunkan konsentrasi partikel padat dan gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), dan nitrogen oksida (NO_x), yang lazim terdapat dalam gas hasil pembakaran biomassa (Sutanhaji dkk., 2018).

Setelah melalui proses pembakaran dan pengendalian emisi, hasil pembakaran berupa arang sekam kemudian dikumpulkan untuk diproses ke tahap selanjutnya. Arang sekam ini dicampur dengan perekat menggunakan tepung kanji dan air dengan komposisi 70% arang sekam padi (440 ml) dan 30% tepung kanji (188 ml). lalu diaduk hingga homogen. Campuran tersebut lalu diaduk kemudian dicetak menggunakan mesin extruder agar menghasilkan bentuk yang seragam. Briket yang dihasilkan lalu dikeringkan secara alami menggunakan sinar matahari hingga kadar airnya sesuai dengan standar. Setelah kering, briket masuk ke tahap pengujian kualitas melalui analisis nilai kalor, lama nyala, serta residu abu. Selain itu, efektivitas wet scrubber diukur dengan membandingkan kadar CO yang dihasilkan pada pembakaran sekam tanpa wet scrubber dan dengan wet scrubber. Melalui pendekatan ini, penelitian bertujuan menunjukkan bahwa penerapan wet scrubber pada tahap awal pembakaran sekam padi dapat mengurangi emisi karbon monoksida dengan baik, sekaligus menghasilkan arang sekam padi melalui proses yang ramah lingkungan.

2.3 Reverse Engineering

Reverse engineering merupakan teknik atau cara untuk menemukan prinsip - prinsip teknologi suatu produk dengan cara menganalisa struktur, fungsi dan cara pada produk tersebut (Redo, 2016). Dalam penelitian ini metode reverse engineering dilakukan dengan cara mengobservasi, mendokumentasikan, serta menguraikan komponen penyusun mesin burner yang sebelumnya tidak dilengkapi sistem pengendalian emisi atau wet scrubber. Tujuan dari metode ini adalah untuk memahami alur pembakaran, jalur perpindahan panas, serta arah keluaran gas buang sehingga dapat diidentifikasi titik optimal untuk integrasi wet scrubber sebagai perangkat penurun emisi gas karbon monoksida (CO). Hasil analisis menunjukkan bahwa pada mesin burner gas hasil pembakaran langsung dialirkan ke atmosfer tanpa proses penyaringan, sehingga potensi emisi CO cukup tinggi. Berdasarkan temuan tersebut, dilakukan rekayasa ulang dengan merancang skema alur baru pada bagian keluaran gas buang (flue gas), dengan menambahkan jalur perpindahan menuju wet scrubber sebelum gas dilepas ke udara bebas. Sistem wet scrubber dirancang agar gas buang bersentuhan langsung dengan media cair berupa larutan air kapur, sehingga kandungan CO dan partikulat dapat terlarut atau terperangkap.



Gambar 8. Metode Reverse Engineering

2.4 Identifikasi Kebutuhan dan Analisis Kondisi Lapangan

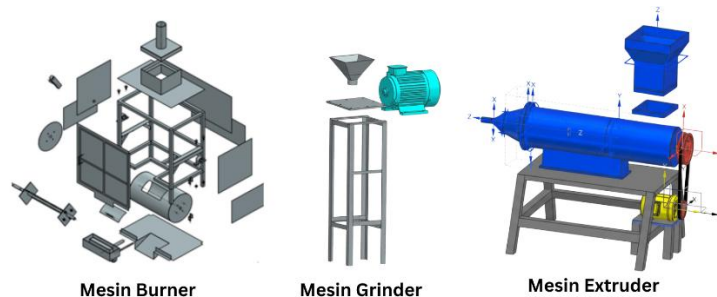
Menurut M. Atwi Suparman (2012:120 dalam Magdalena et al., 2023), proses awal dalam mengidentifikasi kebutuhan dimulai dengan melihat kesenjangan antara keadaan saat ini dan kondisi yang diharapkan. Berdasarkan prinsip tersebut, tahap identifikasi kebutuhan dan analisis kondisi lapangan pada penelitian ini dilakukan agar Peneliti dan Masyarakat dapat menentukan kebutuhan teknis maupun aspek yang masih perlu ditingkatkan di Desa Lamajang. Kegiatan identifikasi mencakup studi literatur, observasi lapangan, serta diskusi dengan kelompok tani Desa Lamajang.

Hasil identifikasi tersebut kemudian menjadi dasar dalam penentuan komposisi bahan dan perancangan proses pembuatan briket agar kualitas produk yang dihasilkan sesuai dengan target penelitian. Fokus kebutuhan yang dianalisis meliputi ketersediaan bahan baku, perancangan set mesin dengan kapasitas yang sesuai dengan lokasi penelitian, serta parameter uji emisi karbon monoksida (CO).

2.4 Perancangan Prototipe Alat

Tahap perancangan prototipe diawali dengan proses desain yang mengacu pada hasil identifikasi kebutuhan dan kondisi lapangan. Norman (2013) menjelaskan bahwa konsep desain merupakan ide dasar yang menjadi pondasi dalam proses mendesain, sedangkan menurut Cahyadi (2023) tanpa konsep desain yang baik, sebuah desain akan terkesan kurang

maksimal dan tidak efektif dalam menyampaikan pesan yang ingin disampaikan. Berdasarkan landasan tersebut proses desain harus dilakukan dengan mempertimbangkan aspek teknis, ergonomi, dan keberfungsian alat secara keseluruhan. Pada tahap ini, arsitektur prototipe didesain mencakup keseluruhan set mesin (grinder, extruder, burner) menggunakan perangkat lunak Computer Aided Design (CAD). Berikut merupakan visualisasi exploded view yang menunjukkan konstruksi fisik dari set mesin tersebut.



Gambar 9. Desain 3D Konstruksi Set Mesin

Setelah tahap desain selesai, proses dilanjutkan ke pembuatan prototipe alat yang diawali dengan pengerjaan konstruksi mesin. Pembuatan ini melibatkan pengelasan rangka baja sebagai struktur utama, pemasangan drum yang difungsikan sebagai ruang bakar, serta instalasi saluran cerobong dan blower sebagai suplai udara untuk menunjang proses pembakaran. Selain perancangan mesin, dilakukan pula percobaan pembuatan briket dengan dua pendekatan, yakni metode pertama menggunakan set mesin (grinder, extruder, burner) tanpa wet scrubber, dan metode kedua dengan set mesin (grinder, extruder, burner) dilengkapi wet scrubber. Perbandingan kedua metode ini bertujuan untuk menilai apakah penerapan wet scrubber berpengaruh terhadap penurunan emisi gas karbon monoksida (CO) dibandingkan metode tanpa wet scrubber.

2.5 Pengujian Emisi Karbon Monoksida

Pengujian emisi karbon monoksida (CO) dilakukan untuk menilai efektivitas penggunaan wet scrubber dalam menurunkan emisi gas buang pada proses pembakaran briket sekam padi. Parameter yang diamati meliputi waktu nyala awal, lama pembakaran, suhu puncak, kadar emisi CO, kadar partikulat, serta efisiensi pembakaran. Pengukuran emisi CO dilakukan menggunakan CO Gas Analyzer merek KIMO, tipe CO 110 seperti pada Gambar 10, berbasis prinsip Non-Dispersive Infrared (NDIR) dengan rentang pengukuran 0–10.000 ppm, akurasi



$\pm 5\%$, dan resolusi 1 ppm. Pengambilan data dilakukan secara langsung selama proses pembakaran untuk memperoleh karakteristik emisi yang dihasilkan.

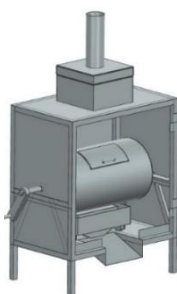
Gambar 10. Alat Gas Analyzer

Tahapan pengujian diawali dengan kalibrasi CO Gas Analyzer dan pengecekan sistem pembakaran. Proses pembakaran dilakukan pada tungku dengan pengaturan aliran udara menggunakan blower, kemudian gas buang dialirkan melalui saluran sampling yang dilengkapi probe pengambil sampel. Konsentrasi karbon monoksida (CO) diukur secara kontinu menggunakan CO Gas Analyzer berbasis Non-Dispersive Infrared (NDIR) dengan interval pencatatan 1–10 detik. Temperatur pembakaran diukur menggunakan termokopel tipe K yang ditempatkan pada area pembakaran dan saluran gas buang untuk memperoleh suhu puncak selama proses pembakaran. Pengukuran partikulat dilakukan menggunakan metode gravimetri dengan filter serat, di mana massa partikulat ditentukan berdasarkan selisih massa filter sebelum dan sesudah pengujian.

Sebagian aliran gas buang diarahkan langsung ke alat ukur, sementara aliran lainnya dialirkan ke wet scrubber berisi air sebagai media penangkap polutan. Pengujian dilakukan pada dua kondisi, yaitu tanpa dan dengan wet scrubber, masing-masing sebanyak tiga kali pengulangan. Apabila terjadi perubahan laju alir gas lebih dari 10%, dilakukan penyesuaian sistem dan kalibrasi ulang alat ukur. Data CO dalam satuan ppm selanjutnya dikonversi ke mg/m^3 berdasarkan suhu, tekanan, dan laju alir gas buang untuk menghitung massa total CO (g).

2.6 Deskripsi Set Mesin Produksi Briket

2.6.1 Mesin Burner



Gambar 11. 3D Mesin Burner

Sistem burner yang digunakan berupa tungku karbonisasi semi tertutup, dirancang khusus untuk mengubah sekam padi menjadi arang melalui proses pirolisis parsial. Pada sistem ini, sekam padi dibakar dengan suplai oksigen terbatas sehingga tidak seluruh material terbakar menjadi abu, melainkan terdekomposisi menjadi arang dengan karakteristik fisik dan kimia yang sesuai untuk bahan baku briket. Desain semi tertutup memungkinkan proses berlangsung lebih terkendali, baik dari sisi temperatur maupun laju pembakaran, sehingga kualitas arang yang dihasilkan lebih beragam. Selain itu, penggunaan burner jenis ini relatif efisien karena mampu memanfaatkan panas hasil pembakaran secara optimal sekaligus meminimalkan kehilangan energi.

2.6.2 Wet Scrubber



Gambar 12. Wet Scrubber

Wet scrubber adalah sistem pengendalian polusi udara yang memurnikan gas buang dari partikel padat dan polutan gas dengan media cair. Pada pembakaran sekam padi, gas dialirkan ke ruang pembersih dan disemprotkan air melalui nozzle, sehingga partikel dan polutan terikat lalu membentuk slurry yang ditampung di dasar ruang. Gas bersih dilepaskan ke atmosfer setelah melewati demister, sementara slurry dialirkan ke unit pengolahan, dan air hasil olahan dapat digunakan kembali (Liu, Y.P., 2019)

Wet scrubber efektif menekan emisi berbahaya pembakaran sekam padi, khususnya CO dan partikel halus, melalui kontak gas buang dan H_2O yang mengikat polutan sehingga lebih ramah lingkungan (Piyathissa dkk., 2023)

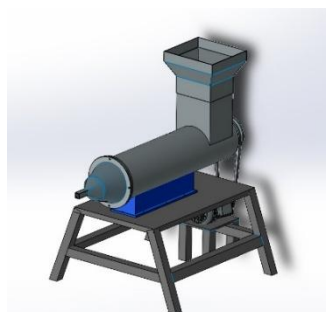
2.6.3 Grinder



Gambar 13. Grinder

Setelah karbonasi, sekam padi digiling menggunakan mesin grinder untuk memperkecil ukuran arang menjadi butiran halus seragam. Penggilingan mekanis dengan pisau bermotor memperluas luas permukaan partikel, mempermudah pencampuran perekat, dan meningkatkan mutu briket sebelum tahap pencetakan.

2.6.4 Extruder



Gambar 14. Extruder

Extruder berfungsi membentuk campuran arang sekam padi halus dan perekat menjadi briket seragam sesuai cetakan. Pada penelitian ini digunakan extruder dengan cetakan 22 inci berdiameter 30 mm, menghasilkan briket oval yang seragam. Mekanismenya berbasis sekrup bermotor yang menekan campuran melalui cetakan, sehingga meningkatkan kepadatan briket, nilai kalor, dan durasi pembakaran. Hal ini sejalan dengan Bello & Onilude (2021), yang menyatakan bahwa tekanan kompresi berpengaruh langsung terhadap densitas, kekuatan mekanis, dan kualitas pembakaran briket.

Eksperimen ini dilakukan menggunakan 2 liter sekam padi dengan densitas volume 0,09 kg/L, menghasilkan massa total sekitar 0,18 kg. Berdasarkan data literatur dari Arranz et al. (2021), sekam padi mengandung sekitar 40,8% karbon, 5,9% hidrogen, 0,5% nitrogen, dan 0,06% belerang, menunjukkan kandungan nitrogen dan belerang yang rendah dan dapat membantu menekan emisi NO_x dan SO_2 saat pembakaran. Dari perspektif analisis proksimat, kulit padi memiliki kandungan bahan volatil sebesar 80,6%, kandungan abu sebesar 9,7%, dan fraksi karbon tetap sekitar 9,7%, yang mencerminkan bahan bakar dengan reaktivitas tinggi namun juga memiliki kelemahan berupa pembentukan abu yang tinggi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Overview materi Uji

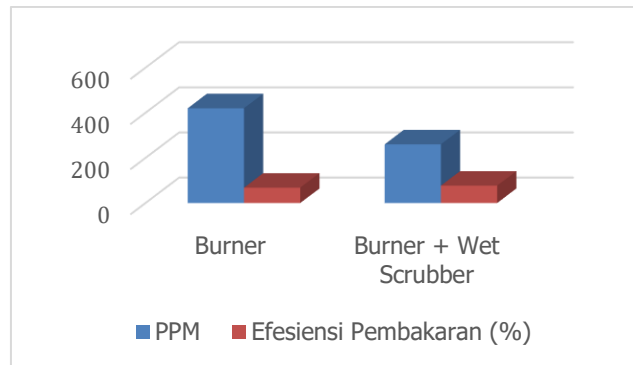
Dengan HHV sebesar 18,14 MJ/kg, sekam padi seberat 0,18 kg memiliki potensi energi sekitar 3,27 MJ, sedangkan 4,5 kg sekam padi menghasilkan sekitar 81,6 MJ. Nilai ini menempatkan sekam padi dalam kategori yang sebanding dengan limbah pertanian lainnya seperti tongkol jagung (16–18 MJ/kg) dan ampas tebu (17–19 MJ/kg), tetapi masih lebih rendah daripada batu bara komersial (25–30 MJ/kg). Nilai HHV yang relatif tinggi menunjukkan bahwa sekam padi dapat berfungsi sebagai bahan bakar biomassa alternatif yang efektif untuk produksi energi skala kecil. Namun, kandungan abu yang tinggi ($\approx 9,7\%$) dan densitas volume yang rendah ($\approx 90 \text{ kg/m}^3$) tetap menjadi tantangan signifikan. Kandungan abu yang tinggi menyebabkan masalah penumpukan kotoran dan endapan di ruang pembakaran, sementara densitas yang rendah mengurangi energi per unit volume, membatasi efisiensi dalam transportasi dan penyimpanan. Kelemahan ini dapat diatasi melalui padatan menjadi briket atau pelet, yang meningkatkan densitas volume dari $\sim 90 \text{ kg/m}^3$ menjadi 600–1200 kg/m^3 dan meningkatkan stabilitas pembakaran. Secara ringkas, sifat fisiko-kimia sekam padi menunjukkan material dengan potensi energi yang menjanjikan, kandungan prekursor polutan yang relatif rendah (N dan S), namun memerlukan intervensi teknologi seperti padatan dan sistem pengendalian emisi untuk meningkatkan kinerjanya sebagai biofuel berkelanjutan.

3.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian briket sekam padi menggunakan burner standar menunjukkan bahwa waktu nyala awal rata – rata adalah 7 menit, dengan lama pembakaran mencapai 120 menit dan suhu puncak sekitar 180 °C. Emisi yang dihasilkan relatif tinggi, dengan konsentrasi karbon monoksida (CO) rata-rata sebesar 420 ppm dan puncak hingga 650 ppm, sedangkan kadar partikulat tercatat sekitar 280 mg/Nm³. Efisiensi pembakaran dihitung sebesar 68%, yang dipengaruhi oleh densitas briket serta distribusi porositasnya.

Sementara itu, pengujian menggunakan burner yang dilengkapi wet scrubber menunjukkan performa yang lebih baik dari sisi lingkungan. Waktu nyala awal rata-rata adalah 6 menit, dengan lama pembakaran 120 menit dan suhu puncak sekitar 185 °C. Konsentrasi CO turun signifikan menjadi rata – rata 260 ppm, dengan puncak 290 ppm, atau mengalami penurunan sekitar 40% dibandingkan burner standar. Selain itu, kadar partikulat juga menurun menjadi

160 mg/Nm³ berkat mekanisme pencucian gas buang oleh tetesan air dalam sistem scrubber. Efisiensi pembakaran meningkat hingga 77%, yang mengindikasikan proses oksidasi lebih sempurna dan residu abu yang lebih sedikit. Gambar 15. Dibawah ini menunjukkan Grafik hasil Pengujian.



Gambar 15. Grafik Hasil Pengujian

3.3 Perbandingan dengan studi lain

Hasil penelitian ini sejalan dengan sejumlah studi terdahulu yang melaporkan emisi karbon monoksida (CO) dari pembakaran briket biomassa pada berbagai konfigurasi sistem pembakaran, baik tanpa maupun dengan penerapan teknologi pengendalian emisi gas buang. Karbon monoksida merupakan polutan utama yang bersifat toksik dan menjadi indikator terjadinya pembakaran tidak sempurna, sehingga umum digunakan untuk menilai kinerja lingkungan dan efisiensi pembakaran briket. Dalam konteks tersebut, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan wet scrubber pada sistem pembakaran briket mampu menurunkan emisi CO secara signifikan dan berada dalam rentang nilai yang dilaporkan pada literatur, meskipun konfigurasi dan tingkat kompleksitas sistem pembakaran yang digunakan dapat berbeda.

Pilusa dkk. (2013) melaporkan bahwa briket biomassa yang diproduksi secara manual, ketika diuji menggunakan tungku keramik tradisional, menghasilkan emisi CO sekitar 74 ppm. Nilai ini relatif rendah dibandingkan beberapa bahan bakar biomassa lainnya, namun masih lebih tinggi dibandingkan standar yang dicapai peralatan pembakaran modern. Di sisi lain, penelitian (Lomunyak dkk., 2024) memberikan gambaran emisi yang lebih bervariasi pada briket arang akasia tergantung jenis bahan pengikatnya, yakni 389 ppm untuk pengikat pati, 345,3 ppm untuk bubur kertas, dan 422,1 ppm jika menggunakan bahan pengikat alga. Temuan ini menegaskan bahwa jenis bahan baku, jenis bahan pengikat, metode produksi, dan tipe perangkat pembakaran sangat mempengaruhi tingkat emisi yang dihasilkan.

Faktor formulasi briket juga terbukti berperan penting. Misalnya, briket sekam padi dengan tambahan molase dan gliserin sebagai perekat justru menghasilkan emisi CO yang jauh lebih tinggi, yakni antara 465 hingga 1128 ppm. Tingginya emisi tersebut terutama dipengaruhi oleh rasio udara berlebih yang digunakan selama pembakaran. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan aditif tidak selalu meningkatkan kinerja pembakaran, dalam kondisi tertentu justru dapat memperburuk efisiensi dan menambah polusi. Sebaliknya, teknologi pembakaran yang lebih maju seperti pellet stove terbukti menghasilkan kinerja yang jauh lebih baik. Penelitian Polonini dkk. (2019) pada sistem tungku pellet modern melaporkan bahwa emisi CO hanya berada pada kisaran 5–62 mg/Nm³ (4–54 ppm). Nilai ini jauh lebih rendah dibandingkan hampir semua sistem pembakaran briket tradisional maupun manual, yang menunjukkan

keunggulan desain ruang bakar, pengaturan suplai udara, dan standar kualitas pellet yang lebih baik. Jika dibandingkan dengan temuan-temuan tersebut, penelitian ini menunjukkan bahwa briket hasil mesin menghasilkan emisi CO rata-rata sekitar 260 ppm. Nilai ini jelas lebih baik dibandingkan beberapa jenis briket manual yang rata-rata melebihi 300 ppm dan bahkan mencapai puncak lebih dari 400 ppm. Artinya, proses produksi mekanis mampu menghasilkan briket dengan kepadatan lebih seragam, tingkat kompaksi lebih tinggi, serta karakteristik pembakaran yang lebih konsisten, sehingga berkontribusi pada penurunan emisi CO. Namun demikian, angka 260 ppm masih jauh lebih tinggi dibandingkan sistem pellet modern, sehingga masih ada kesenjangan antara teknologi briket semi tradisional dengan sistem pembakaran yang lebih maju.

3.4 Kalkulasi Emisi

Sebelum menghitung emisi karbon monoksida (CO), terlebih dahulu ditentukan data masukan hasil pengukuran dan perhitungan yang meliputi konsentrasi CO, suhu, waktu pembakaran, kecepatan aliran gas, serta kondisi operasi lainnya. Kecepatan aliran gas diperoleh dari hasil perhitungan berdasarkan laju alir volumetrik gas buang yang dihasilkan oleh blower dan luas penampang saluran gas, menggunakan hubungan $v = Q/A$. Data tersebut selanjutnya digunakan untuk koreksi kandungan O₂, konversi konsentrasi CO dari satuan ppm menjadi mg/Nm³, serta perhitungan massa CO yang dilepaskan dan faktor emisi (g/kg bahan bakar).

Tabel 1. Kebutuhan Kalkulasi

Method	CO (PPM)	T (°C)	RH (%)	O ₂ (%)	Velocity (m/s)	Area (m ²)	Time (minute)
Burner	420 ppm	180 °C.	12%	16%	7 m/s	0,0962 m ²	120 menit
Burner + Wet Scrubber	260 ppm	185 °C	50%	16%	6 m/s	0,0962 m ²	120 menit

Data masukan tersebut kemudian digunakan untuk perhitungan dengan menggunakan rumus standar di bawah ini :

1. O₂ Correction

$$C_{\text{Corr}} = C_{\text{meas}} \times \frac{21 - O_{2,\text{ref}}}{21 - O_{2,\text{meas}}}$$

Dengan,

$$O_{2,\text{ref}} = 12\%$$

2. Konversi dari ppm → mg/Nm³

$$C_{\text{mg/Nm}^3} = \frac{C_{\text{ppm}} \times MW \times 1000}{22.414}$$

Dengan,

$$MW_{CO} = 28.01 \frac{g}{mol}$$

3. Gas Flow Rate

$$Q = v \times A$$

4. Total Gas Volume

$$V = Q \times t$$

5. Mass of CO released

$$m_{CO} = C_{corr} \times V$$

6. Emission Factor (EF)

$$EF = \frac{m_{CO}}{m_{fuel}}$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan

Metode	C Means (PPM)	C corr (PPM)	C (mg/N m ³)	O ₂ (%)	Q (m ³ /s)	V (m ³)	M CO (g/batch)
Burner	420 ppm	756	944,747	16%	0,6734	4.848,48	4.580,587
Burner + Wet Scrubber	260 ppm	468	584,843	16%	0,5772	4.155,84	2.430,516

Persentase pengurangan total massa CO per batch (burner → burner+scrubber):

$$\frac{4,580,587 - 2,430,516}{4,580,587} \times 100\% = 46,94\%$$

3.5 Implikasi Penelitian

Dari sisi energi, penggunaan burner dengan dilengkapi wet scrubber terbukti meningkatkan performa pembakaran. Dibandingkan pembakaran terbuka, proses dengan burner dan wet scrubber menghasilkan pembakaran yang lebih stabil, distribusi panas yang merata, serta nyala yang dapat dipertahankan lebih lama. Hal ini membuat briket sekam padi lebih andal untuk aplikasi memasak maupun pemanasan berkelanjutan.

Dari sisi lingkungan, terjadi penurunan konsentrasi CO rata-rata sebesar 38%, yaitu dari 460 ppm pada pembakaran terbuka menjadi 220 ppm dengan burner + wet scrubber. Selain itu, kadar partikulat juga menurun signifikan dari sekitar 945 mg/Nm³ menjadi 585 mg/Nm³. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem ini berpotensi mengurangi risiko kesehatan akibat paparan polusi udara dalam ruangan, sekaligus menekan kontribusi terhadap pencemaran lingkungan dan emisi gas rumah kaca. Dari sisi teknologi, penerapan mesin terintegrasi yang mencakup proses penggilingan, ekstrusi, dan pembakaran memungkinkan tercapainya standar produksi yang lebih konsisten.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan potensi energi sekam padi dengan nilai kalor tinggi (HHV) 18,14 MJ/kg atau 81,6 MJ dari 4,5 kg sampel. Pembuatan briket menggunakan set mesin (burner, grinder, dan extruder) yang terintegrasi wet scrubber terbukti meningkatkan stabilitas pembakaran dengan menurunkan emisi CO sebesar 39% (dari 420 ppm menjadi 260 ppm). Lebih jauh, integrasi wet scrubber pada burner menjadi terobosan penting dalam pengendalian emisi, dengan total massa CO berkurang drastis dari 4.580 g/batch (0,642 g/kg sekam) menjadi 2.430 g/batch (0,101 g/kg sekam), atau reduksi sekitar 84,3%. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi wet scrubber pada set mesin produksi briket sekam padi secara signifikan menekan emisi karbon monoksida (CO) sekaligus meningkatkan kualitas pembakaran. Penggunaan burner yang dilengkapi wet scrubber terbukti lebih efektif dalam menurunkan emisi karbon monoksida (CO) dibanding burner standar. Mekanisme pendinginan dan filtrasi gas buang pada scrubber mampu menurunkan konsentrasi CO hingga $\pm 38\%$ sekaligus mengurangi partikulat, sehingga kualitas udara lebih terjaga. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan wet scrubber dapat menjadi strategi penting dalam optimalisasi produksi briket sekam padi melalui pengendalian emisi CO.

DAFTAR RUJUKAN

- Ardiansyah, A., Lestari, P. G., & Dian, M. (2025). *4590_Copy+Editing*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.26486/jramb.v10i2.4590>
- Cahyadi, D. (t.t.). *Memahami Konsep Desain: Menjadi Lebih Kreatif dan Efektif dalam Mendesain*. <https://www.researchgate.net/publication/369230114>
- Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barret, K., Blanco, G., Cheung, W. W. L., Connors, S. L., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., ... Ha, M. (2023). *IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland*. (P. Arias, M. Bustamante, I. Elgizouli, G. Flato, M. Howden, C. Méndez-Vallejo, J. J. Pereira, R. Pichs-Madruga, S. K. Rose, Y. Saheb, R. Sánchez Rodríguez, D. Ürge-Vorsatz, C. Xiao, N. Yassaa, J. Romero, J. Kim, E. F. Haites, Y. Jung, R. Stavins, ... Y. Park, Ed.). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
- Damayanti, S. R., & Hendrasarie, N. (2025). *Efektivitas Absorben Kimia pada Wet Scrubber untuk Menurunkan Emisi CO dan CO₂*. X(1).
- Fathia, A. N., Hardianto, A., & Raswatie, F. D. (2024). Strategi Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca pada Budidaya Padi di Indonesia. *Indonesian Journal of Agricultural Resource and Environmental Economics*, 3(1), 49–58. <https://doi.org/10.29244/ijaree.v3i1.54757>
- Irma, M. F., & Gusmira, E. (2024). *JSSIT: Jurnal Sains dan Sains Terapan TINGGINYA KENAIKAN SUHU AKIBAT PENINGKATAN EMISI GAS RUMAH KACA DI INDONESIA HIGH TEMPERATURE RISE DUE TO INCREASED GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN INDONESIA*.

- Lanjekar, P. R., & Panwar, N. L. (2025). Design and optimization of water scrubbing system for tar reduction in biomass gasification: a statistical analysis. *Oxford Open Energy*, 4. <https://doi.org/10.1093/ooenergy/oiaf001>
- Lomunyak, G., Osodo, B., Njoka, F., & Kombe, E. (2024). Characterization, optimization and emission analysis of manually-made charcoal dust briquettes with starch, paper and algae binders. *Heliyon*, 10(24). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40991>
- Magdalena, I., Marchani, N., & Mariana, P. D. (2023). *Jurnal+Nadya+Sindoro*. <https://doi.org/10.9644/scp.v1i1.332>
- Melo, R. H., & Rahmadani, N. A. (2022). Dampak Perubahan Iklim Terhadap Kesehatan Manusia. *Jurnal Penelitian Geografi (GeoJPG)*, 1(1), 40–45. <https://doi.org/10.34312/geojpg.v1i1.26522>
- Purwadinata, S., Dekayanti, S., & Rosari, M. (2022). *PEMANFAATAN LIMBAH KOTORAN TERNAK DAN SEKAM PADI SEBAGAI BAHAN BAKU PUPUK ORGANIK DI DESA BANTULANTEH KECAMATAN TARANO*. <http://e-journalppmunsa.ac.id/index.php/jpml>
- Ramaswamy, K., Jule, L. T., N, N., Subramanian, K., R, S., L, P. D., & Seenivasan, V. (2022). Reduction of environmental chemicals, toxicity and particulate matter in wet scrubber device to achieve zero emissions. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13369-w>
- Redo, M. R. (2016). 938-2366-1-PB. *Jurnal Darmajaya*, 16. <https://doi.org/https://doi.org/10.30873/ji.v16i1.938>
- Sutanhaji, A. T., Anugroho, F., & Ramadhina, P. G. (2018). *34 Sutanhaji Pemetaan Distribusi Emisi Gas Karbon Dioksida (CO2) dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) pada Kota Blitar Mapping of the Distribution Carbon Dioxide (CO2) Emissions with Geographic Information System (GIS) in Blitar City*. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.21776/ub.jsal.2018.005.01.5>
- Warke, P. S., Chaudhari, D. M., Naik, V. S., Patil, D. D., Dhokale, S. S., Maniyar, K. G., & Patil, G. H. (2025). Wet Scrubber System for Exhaust Gas Emission Reduction. *Journal of Mines, Metals and Fuels*, 73(5), 1331–1341. <https://doi.org/10.18311/jmmf/2025/48623>