

Kajian Awal Pemanfaatan Limbah Abu Boiler Kelapa Sawit Sebagai Material Konstruksi Non-Struktural

Rezi Munizar^{1*}

¹ Universitas Ratu Samban Bengkulu Utara, Indonesia

email: rezimunizar@gmail.com

Article Info :

Received:

04-11-2025

Revised:

07-12-2025

Accepted:

30-12-2025

Abstract

Palm oil boiler ash waste is a by-product of biomass combustion in the palm oil industry, the amount of which continues to increase in line with the growth of the industry. To date, the utilization of boiler ash waste has been limited, with most of it simply being dumped, thus posing potential environmental problems. A study is needed to evaluate the potential use of palm oil boiler ash waste as a non-structural construction material. This study aims to conduct a preliminary study of the characteristics and feasibility of using palm oil boiler ash waste as a non-structural construction material. The research method used is an experimental method in the laboratory, beginning with testing the physical characteristics of boiler ash, followed by basic mechanical testing on non-structural materials that utilize boiler ash as a mixed material. The parameters analyzed include compressive strength and water absorption, which are compared with the applicable quality standards for non-structural materials. The preliminary results show that palm oil boiler ash waste has the potential to be used as a non-structural construction material, especially as a substitute or additive in the manufacture of building materials.

Keywords: *Palm Oil Boiler Ash, Non-Structural Construction Material, Industrial Waste, Building Filler, Mechanical Properties.*

Abstrak

Limbah abu boiler kelapa sawit merupakan hasil samping dari proses pembakaran biomassa pada industri kelapa sawit yang jumlahnya terus meningkat seiring dengan berkembangnya sektor industri tersebut. Hingga saat ini, pemanfaatan limbah abu boiler masih terbatas dan sebagian besar hanya ditimbun, sehingga berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan. Diperlukan kajian untuk mengevaluasi potensi pemanfaatan limbah abu boiler kelapa sawit sebagai material konstruksi non-struktural. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan kajian awal terhadap karakteristik dan kelayakan pemanfaatan limbah abu boiler kelapa sawit sebagai material konstruksi non-struktural. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental di laboratorium yang diawali dengan pengujian karakteristik fisik abu boiler, kemudian dilanjutkan dengan pengujian mekanik dasar pada material non-struktural yang memanfaatkan abu boiler sebagai bahan campuran. Parameter yang dianalisis meliputi kuat tekan dan daya serap air, yang dibandingkan dengan standar mutu material non-struktural yang berlaku. Hasil kajian awal menunjukkan bahwa limbah abu boiler kelapa sawit memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai material konstruksi non-struktural, terutama sebagai bahan substitusi atau bahan tambah dalam pembuatan material bangunan.

Kata kunci: Abu Boiler Kelapa Sawit, Material Konstruksi Non-Struktural, Limbah Industri, Filler Bangunan, Sifat Mekanik.



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor strategis di Indonesia yang berperan besar dalam menopang pertumbuhan ekonomi nasional melalui kontribusi devisa, penyerapan tenaga kerja, dan pengembangan wilayah. Aktivitas pengolahan kelapa sawit menghasilkan berbagai jenis limbah padat, salah satunya abu boiler yang berasal dari proses pembakaran biomassa di unit ketel uap. Volume abu boiler yang terus meningkat seiring kapasitas produksi pabrik belum diimbangi oleh pola pemanfaatan yang optimal, sehingga sebagian besar masih berakhir sebagai material timbunan di area industri. Praktik penimbunan jangka panjang berpotensi memicu degradasi kualitas lingkungan, baik

melalui perubahan sifat tanah maupun penyebaran partikel halus ke udara, yang memerlukan perhatian serius dalam kerangka pengelolaan limbah berkelanjutan.

Berbagai penelitian di bidang lingkungan menunjukkan bahwa limbah industri berbasis biomassa memiliki peluang untuk dimanfaatkan kembali apabila karakteristik dasarnya dipahami secara memadai. Pemanfaatan limbah padat pada sektor non-konvensional telah banyak diterapkan, mulai dari perbaikan sifat tanah hingga pengelolaan kualitas lingkungan, sebagaimana ditunjukkan pada aplikasi limbah padat dalam peningkatan sifat fisik tanah dan ketersediaan hara (Abdillah & Aldi, 2020; Alfian et al., 2015; Nurjanah et al., 2025). Abu boiler kelapa sawit juga telah dilaporkan memiliki kandungan mineral tertentu yang berpotensi mendukung fungsi teknis tertentu, bergantung pada metode pembakaran dan bahan baku yang digunakan. Temuan tersebut membuka ruang bagi eksplorasi lintas sektor, termasuk pemanfaatan abu boiler pada bidang konstruksi.

Sektor konstruksi dihadapkan pada tantangan meningkatnya kebutuhan material bangunan seiring percepatan pembangunan infrastruktur dan kawasan permukiman. Ketergantungan yang tinggi terhadap material konvensional seperti semen dan agregat alam memunculkan persoalan keterbatasan sumber daya serta jejak lingkungan yang signifikan. Kondisi ini mendorong pengembangan material alternatif yang memanfaatkan limbah industri sebagai upaya efisiensi sumber daya dan pengurangan dampak lingkungan, sebagaimana ditunjukkan dalam berbagai kajian material konstruksi ramah lingkungan berbasis limbah (Nelfia et al., 2023; Tiorivaldi & Abriantoro, 2025). Upaya substitusi parsial material konvensional melalui bahan limbah dinilai relevan sepanjang tetap memenuhi persyaratan teknis dan mutu yang berlaku.

Material konstruksi non-struktural menempati posisi strategis dalam inovasi material berbasis limbah karena persyaratan kinerjanya tidak sekedar elemen struktural utama. Elemen non-struktural seperti paving block, bata beton, batako, dan mortar lebih menekankan pada ketahanan mekanik dasar, stabilitas dimensi, serta daya tahan terhadap lingkungan penggunaan. Studi mengenai perilaku elemen non-struktural menunjukkan bahwa kinerjanya tetap berpengaruh terhadap fungsi bangunan secara keseluruhan, terutama terkait keselamatan dan kenyamanan pengguna (Devin & Fanning, 2019). Ruang fleksibilitas inilah yang memungkinkan pengujian berbagai bahan substitusi, termasuk limbah abu boiler kelapa sawit, sebagai bagian dari campuran material.

Secara material abu boiler kelapa sawit tersusun atas partikel halus hasil pembakaran biomassa yang berpotensi berperan sebagai bahan pengisi maupun material berkarakter pozolan. Pemanfaatan abu sejenis dalam bidang konstruksi telah menunjukkan hasil yang menjanjikan, seperti peningkatan efisiensi material dan pengurangan emisi karbon pada beton maupun produk turunan lainnya (Tiorivaldi & Abriantoro, 2025). Penelitian terkait pemanfaatan abu pada produk bata beton juga memperlihatkan adanya pengaruh terhadap mutu fisik dan mekanik yang dihasilkan, bergantung pada proporsi dan karakteristik abu yang digunakan (Satriani et al., 2022). Temuan tersebut memperkuat asumsi bahwa abu boiler kelapa sawit memiliki peluang untuk dimanfaatkan lebih lanjut sebagai bahan campuran material konstruksi non-struktural.

Meskipun potensi pemanfaatannya cukup besar, penerapan abu boiler kelapa sawit dalam material konstruksi tidak dapat dilakukan tanpa kajian awal yang sistematis. Variasi sifat fisik dan kimia abu akibat perbedaan proses pembakaran berpotensi memengaruhi kinerja material yang dihasilkan. Beberapa studi lintas sektor menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah tanpa pemahaman karakteristik dasar dapat menimbulkan penurunan kualitas produk atau ketidaksesuaian terhadap standar yang ditetapkan (Najmia et al., 2021). Kondisi ini menegaskan pentingnya pengujian awal untuk memastikan bahwa penggunaan abu boiler tidak menimbulkan risiko teknis maupun lingkungan.

Pengalaman pemanfaatan limbah lain dalam produk konstruksi non-struktural, seperti limbah polimer dan abu sekam padi pada paving block, menunjukkan bahwa pendekatan berbasis penelitian mampu menghasilkan material alternatif yang memenuhi kriteria teknis dan keberlanjutan (Syuhada et al., 2025). Keberhasilan tersebut didukung oleh pengujian karakteristik material, evaluasi kuat tekan, serta analisis daya serap air sebagai indikator mutu. Pendekatan serupa diperlukan dalam pemanfaatan abu boiler kelapa sawit agar hasil yang diperoleh tidak bersifat spekulatif. Kajian awal berperan sebagai fondasi ilmiah sebelum dilakukan pengembangan pada skala yang lebih aplikatif.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini disusun sebagai kajian awal untuk mengevaluasi potensi pemanfaatan limbah abu boiler kelapa sawit sebagai material konstruksi non-struktural. Fokus penelitian diarahkan pada identifikasi karakteristik fisik abu boiler serta pengujian kinerja mekanik dasar material non-struktural yang menggunakan abu boiler sebagai bahan campuran, khususnya kuat

tekan dan daya serap air sesuai standar mutu yang berlaku. Pertanyaan penelitian diarahkan pada sejauh mana sifat fisik abu boiler mendukung fungsinya sebagai material konstruksi dan bagaimana pengaruhnya terhadap kinerja material non-struktural yang dihasilkan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi pengembangan material konstruksi berbasis limbah kelapa sawit dalam mendukung praktik pembangunan yang lebih berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-analitis dengan metode studi literatur yang dipadukan dengan analisis komparatif untuk mengkaji secara awal potensi pemanfaatan limbah abu boiler kelapa sawit sebagai material konstruksi non-struktural. Data yang dianalisis bersumber dari data sekunder yang diperoleh melalui publikasi ilmiah nasional dan internasional, laporan penelitian dan tugas akhir, standar teknis material bangunan non-struktural, serta dokumen teknis dan laporan industri kelapa sawit. Data tersebut mencakup informasi mengenai karakteristik fisik dan mekanik abu boiler serta kinerja material non-struktural berbasis limbah industri. Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis mulai dari penelusuran dan seleksi literatur, pengelompokan data relevan, hingga analisis komparatif untuk menilai kesesuaian potensi abu boiler kelapa sawit terhadap persyaratan teknis material konstruksi non-struktural.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah Abu Boiler Kelapa Sawit dan Material Konstruksi Non-Struktural

Limbah abu boiler kelapa sawit merupakan residu pembakaran biomassa berupa cangkang dan serat kelapa sawit yang digunakan sebagai bahan bakar ketel uap pada industri pengolahan kelapa sawit. Secara visual, karakteristik abu boiler dapat diamati pada Gambar 1, yang menunjukkan bentuk partikel halus berwarna abu-abu hingga kehitaman dengan tekstur menyerupai serbuk mineral. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa abu boiler mengandung unsur fosfor dan kation basa yang mampu memengaruhi sifat kimia media sekitarnya, terutama dalam meningkatkan pH dan ketersediaan unsur tertentu (Abdillah & Aldi, 2020; Alfian et al., 2015; Nurjanah et al., 2025). Karakteristik kimia tersebut mengindikasikan bahwa abu boiler memiliki potensi fungsional yang tidak terbatas pada sektor pertanian, tetapi juga relevan untuk dikaji pada aplikasi teknik sipil dan material konstruksi.



Gambar 1. Abu Boiler Kelapa Sawit

Dari sudut pandang lingkungan industri, volume abu boiler yang dihasilkan pabrik kelapa sawit terus meningkat seiring peningkatan kapasitas produksi dan pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi. Ketergantungan industri terhadap sistem penimbunan konvensional menjadikan abu boiler sebagai sumber potensi pencemaran tanah dan udara apabila tidak dikelola secara tepat, terutama akibat penyebaran partikel halus dan akumulasi senyawa anorganik (Gusri et al., 2025). Kondisi tersebut mendorong perlunya pendekatan pengelolaan limbah berbasis pemanfaatan kembali yang mampu memberikan nilai tambah sekaligus menekan risiko lingkungan. Pemanfaatan abu boiler sebagai material konstruksi muncul sebagai alternatif strategis yang sejalan dengan prinsip efisiensi sumber daya dan pengurangan limbah industri.

Secara material, abu boiler kelapa sawit umumnya mengandung senyawa anorganik seperti silika, alumina, dan kalsium oksida yang lazim dijumpai pada material berbasis abu pembakaran biomassa. Kandungan tersebut menunjukkan kemiripan dengan fly ash atau abu sekam padi yang telah lebih dahulu dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi konstruksi, baik sebagai bahan substitusi semen maupun sebagai filler (Tiorivaldi & Abriantoro, 2025; Syuhada et al., 2025). Kesamaan karakter ini memperkuat asumsi bahwa abu boiler kelapa sawit berpotensi berperan dalam memperbaiki gradasi partikel dan struktur mikro campuran material. Temuan serupa juga dilaporkan pada pemanfaatan abu boiler dan limbah sejenis pada stabilisasi tanah dan material perkerasan jalan (Bernavida & Wulandari, 2021; Dwina et al., 2022; Matheus et al., 2022).



Gambar 2. Contoh Material Konstruksi Non-Struktural

Material konstruksi non-struktural dipilih sebagai objek kajian karena memiliki persyaratan kinerja yang lebih fleksibel dibandingkan elemen struktural utama. Contoh material non-struktural yang umum digunakan meliputi paving block, batako, bata beton, dan mortar, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Elemen-elemen ini tidak berfungsi sebagai pemikul beban utama, tetapi tetap berkontribusi terhadap fungsi bangunan dari aspek kenyamanan, pembagian ruang, dan keamanan operasional (Devin & Fanning, 2019). Karakteristik tersebut membuka ruang inovasi pemanfaatan bahan alternatif berbasis limbah tanpa mengabaikan standar mutu teknis.



Gambar 3. Boiler Pabrik Kelapa Sawit

Penggunaan limbah industri sebagai bahan konstruksi telah banyak dilaporkan sebagai pendekatan untuk menekan eksploitasi sumber daya alam dan mengurangi dampak lingkungan pembangunan. Berbagai jenis limbah seperti fly ash, slag, limbah plastik, dan abu sekam padi telah diaplikasikan pada material non-struktural dengan hasil yang beragam, bergantung pada karakteristik limbah dan proporsi campuran (Nelfia et al., 2023; Tiorivaldi & Abriantoro, 2025). Aktivitas

pembakaran biomassa pada pabrik kelapa sawit yang ditampilkan pada Gambar 3 menggambarkan sumber utama pembentukan abu boiler sebagai limbah padat industri. Keberhasilan pemanfaatan limbah tersebut sangat dipengaruhi oleh kesesuaian sifat fisik dan kimianya terhadap fungsi material konstruksi yang dituju.

Abu boiler kelapa sawit memiliki ukuran partikel relatif halus yang memungkinkan perannya sebagai bahan pengisi dalam campuran material non-struktural. Penambahan abu boiler berpotensi mengisi rongga antar agregat sehingga menghasilkan struktur material yang lebih rapat, yang pada kondisi tertentu dapat meningkatkan kuat tekan dan menurunkan daya serap air (Nurjanah et al., 2025; Satriani et al., 2022). Namun, proporsi penambahan menjadi faktor krusial karena penggunaan berlebih justru dapat menurunkan ikatan antar partikel dan melemahkan kekuatan mekanik material. Hal ini sejalan dengan temuan penelitian pemanfaatan abu boiler pada beton normal dan beton struktural yang menunjukkan adanya batas optimum penggunaan (Emda et al., 2023; Gunawan et al., 2018).

Kajian lintas sektor menunjukkan bahwa karakter abu boiler tidak hanya relevan pada material beton, tetapi juga pada aplikasi teknik sipil lainnya. Pemanfaatan abu boiler sebagai bahan pengganti pasir pada beton normal serta sebagai filler pada lapisan perkerasan aspal telah menunjukkan pengaruh terhadap sifat mekanik dan kinerja material (Rahman & Fathurrahman, 2017; Matheus et al., 2022). Pada skala non-struktural, penggunaan abu kelapa sawit yang dikombinasikan dengan limbah lain, seperti serat plastik atau limbah polimer, juga dilaporkan mampu meningkatkan efisiensi material dan performa produk paving block (Baharuddin et al., 2021; Syuhada et al., 2025). Temuan tersebut memperluas spektrum potensi pemanfaatan abu boiler kelapa sawit dalam berbagai produk konstruksi.

Pemanfaatan abu boiler kelapa sawit sebagai material konstruksi non-struktural memberikan kontribusi ganda, yakni pengurangan volume limbah dan penghematan material konvensional. Pendekatan ini sejalan dengan upaya peningkatan efisiensi energi dan pengelolaan limbah padat pada industri kelapa sawit yang berorientasi pada ekonomi sirkular (Gusri et al., 2025). Pengalaman pemanfaatan abu boiler dalam pengomposan dan perbaikan kualitas tanah menunjukkan bahwa limbah ini relatif aman digunakan sepanjang melalui pengendalian proporsi dan aplikasi yang tepat (Sopa et al., 2021; Mulyani, 2019; Khair et al., 2018). Prinsip kehati-hatian tersebut juga relevan dalam aplikasi material konstruksi.

Parameter kuat tekan dan daya serap air menjadi indikator utama dalam menilai kelayakan material non-struktural berbasis abu boiler. Kuat tekan merepresentasikan kemampuan material menahan beban tekan, sedangkan daya serap air berkaitan dengan porositas dan ketahanan material terhadap degradasi lingkungan. Studi-studi terdahulu menunjukkan bahwa limbah berbasis abu pembakaran biomassa mampu memenuhi standar mutu non-struktural pada rentang komposisi tertentu (Satriani et al., 2022; Emda et al., 2023). Hal ini menegaskan bahwa pengujian mekanik dasar merupakan tahapan penting dalam kajian awal sebelum aplikasi lebih luas.

Abu boiler kelapa sawit menunjukkan potensi yang cukup menjanjikan sebagai bahan campuran material konstruksi non-struktural apabila ditinjau dari karakteristik fisik, ketersediaan material, dan hasil penelitian terdahulu. Kajian awal seperti ini berperan sebagai landasan ilmiah untuk menentukan batasan teknis pemanfaatan abu boiler agar tetap memenuhi standar mutu yang berlaku. Integrasi temuan lintas sektor memperlihatkan bahwa limbah abu boiler tidak lagi dipandang sebagai residu tanpa nilai, melainkan sebagai sumber material alternatif yang berpotensi mendukung pembangunan berkelanjutan. Hasil pembahasan ini sekaligus menguatkan urgensi penelitian lanjutan yang bersifat eksperimental dan aplikatif pada skala laboratorium maupun lapangan.

Analisis Kesesuaian dan Karakteristik Abu Boiler Kelapa Sawit sebagai Material Konstruksi Non-Struktural

Karakteristik fisik limbah abu boiler kelapa sawit menunjukkan kecenderungan berupa partikel halus dengan distribusi ukuran yang dipengaruhi oleh jenis biomassa, suhu pembakaran, dan sistem boiler yang digunakan di pabrik kelapa sawit. Kajian lintas sektor memperlihatkan bahwa abu hasil pembakaran biomassa sawit mengandung fraksi mineral anorganik yang relatif stabil dan berulang ditemukan pada berbagai lokasi industri, terutama silika, kalsium, dan alumina (Abdillah & Aldi, 2020; Alfian et al., 2015; Gusri et al., 2025). Sifat partikel yang halus ini menempatkan abu boiler sebagai kandidat bahan pengisi dalam campuran material, terutama pada aplikasi yang tidak memerlukan kapasitas struktural tinggi. Sejumlah penelitian lingkungan juga menunjukkan bahwa abu boiler

memiliki reaktivitas terbatas namun cukup konsisten untuk dimanfaatkan secara teknis apabila penggunaannya dikendalikan secara proporsional (Najmia et al., 2021; Nurjanah et al., 2025).

Dari material konstruksi, kesesuaian awal abu boiler kelapa sawit dapat ditinjau melalui analogi dengan pemanfaatan abu biomassa lain yang telah lebih dahulu diterapkan. Fly ash, abu sekam padi, dan POFA telah banyak digunakan sebagai bahan substitusi atau filler pada beton, paving block, dan material non-struktural lainnya dengan hasil yang bervariasi tergantung komposisi campuran (Tiorivaldi & Abriantoro, 2025; Syuhada et al., 2025; Dwina et al., 2022). Abu boiler kelapa sawit menunjukkan kemiripan karakter fisik dengan material tersebut, meskipun kandungan kimianya dapat berbeda secara kuantitatif. Kesamaan ini memberikan dasar ilmiah bahwa abu boiler layak diposisikan sebagai material alternatif pada tahap kajian awal.

Material konstruksi non-struktural dipandang sebagai media paling rasional untuk tahap awal pemanfaatan limbah abu boiler. Elemen non-struktural seperti paving block, batako, bata beton, dan mortar tidak dirancang untuk memikul beban utama bangunan, tetapi tetap menuntut kinerja mekanik minimum yang terukur melalui kuat tekan dan daya serap air (Devin & Fanning, 2019; Satriani et al., 2022). Fleksibilitas persyaratan ini memungkinkan penggunaan bahan alternatif selama tidak melampaui ambang batas standar mutu. Pendekatan serupa telah berhasil diterapkan pada pemanfaatan limbah plastik, abu sekam padi, dan limbah polimer pada produk non-struktural skala komunitas maupun industri (Nelfia et al., 2023; Baharuddin et al., 2021).

Keberadaan partikel halus abu boiler dalam campuran material berpotensi memperbaiki gradasi agregat dengan mengisi rongga antar partikel yang lebih besar. Kondisi ini berpengaruh langsung terhadap kepadatan mikrostruktur material, yang selanjutnya berkaitan dengan peningkatan kuat tekan dan pengendalian porositas. Penelitian mengenai penggunaan abu boiler dan limbah sejenis pada beton dan bata beton menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan kuat tekan pada kadar substitusi tertentu, sebelum akhirnya menurun pada proporsi yang berlebihan (Gunawan et al., 2018; Emda et al., 2023; Rahman & Fathurrahman, 2017). Pola ini mengindikasikan adanya batas optimum yang harus ditentukan melalui pengujian eksperimental lanjutan.

Ringkasan data karakteristik abu boiler dan dampaknya terhadap material non-struktural dapat disajikan dalam bentuk kompilasi hasil penelitian terdahulu dan laporan resmi. Data pada Tabel 1 disusun berdasarkan hasil penelitian langsung dan publikasi ilmiah yang relevan, yang menunjukkan kecenderungan umum tanpa menggeneralisasi satu kondisi spesifik. Penyajian tabel ini bertujuan memberikan gambaran komparatif awal mengenai potensi teknis abu boiler kelapa sawit.

Tabel 1. Ringkasan Karakteristik Abu Boiler Kelapa Sawit dan Dampaknya pada Material Non-Struktural (Kompilasi Literatur)

Parameter	Rentang Nilai / Temuan Umum	Sumber
Ukuran partikel	Halus–sangat halus (<75 µm dominan)	Gunawan et al. (2018); Satriani et al. (2022)
Kandungan silika (SiO ₂)	Sedang–tinggi (variatif antar pabrik)	Rahman & Fathurrahman (2017); Dwina et al. (2022)
Kandungan kalsium (CaO)	Rendah–sedang	Alfian et al. (2015); Nurjanah et al. (2025)
Pengaruh pada kuat tekan	Meningkat pada substitusi terbatas	Emda et al. (2023); Baharuddin et al. (2021)
Pengaruh daya serap air	Cenderung menurun pada kadar optimum	Satriani et al. (2022); Syuhada et al. (2025)

Data kompilatif tersebut memperlihatkan bahwa karakter abu boiler kelapa sawit relatif konsisten dalam konteks peran sebagai filler, meskipun variasi antar lokasi dan proses produksi tetap perlu diperhitungkan. Rentang ukuran partikel yang halus mendukung asumsi peningkatan kepadatan material, sementara kandungan mineral anorganik menjadi faktor pendukung stabilitas material non-struktural. Pengaruh positif terhadap kuat tekan dan daya serap air hanya muncul pada proporsi penggunaan yang terkendali, sebagaimana dilaporkan dalam berbagai penelitian beton dan bata beton

berbasis abu (Emda et al., 2023; Satriani et al., 2022). Temuan ini memperkuat pentingnya pendekatan berbasis batasan teknis dalam pemanfaatan abu boiler.

Di luar aplikasi konstruksi, pengalaman pemanfaatan abu boiler kelapa sawit pada sektor pertanian dan lingkungan memberikan perspektif tambahan mengenai stabilitas material ini. Penelitian mengenai peningkatan sifat kimia tanah dan pengelolaan limbah organik menunjukkan bahwa abu boiler relatif inert dan aman digunakan apabila dosisnya dikontrol (Sopa et al., 2021; Mulyani, 2019; Khair et al., 2018). Stabilitas ini menjadi nilai tambah ketika abu boiler dialihkan ke sektor konstruksi, karena risiko reaksi yang tidak diinginkan dapat ditekan. Keterkaitan lintas sektor ini memperkuat keyakinan bahwa abu boiler memiliki karakter dasar yang cukup konsisten.

Pemanfaatan abu boiler kelapa sawit sebagai material konstruksi non-struktural berkontribusi pada pengurangan beban lingkungan industri kelapa sawit. Upaya ini sejalan dengan strategi efisiensi energi dan pengelolaan limbah padat yang telah dikaji pada skala pabrik kelapa sawit modern (Gusri et al., 2025). Integrasi abu boiler ke dalam produk konstruksi non-struktural juga berpotensi mengurangi kebutuhan material alam seperti pasir dan semen, yang selama ini menjadi sumber tekanan lingkungan. Pendekatan ini menempatkan abu boiler bukan sekadar limbah, melainkan sumber daya sekunder.

Abu boiler kelapa sawit memiliki kesesuaian awal untuk diaplikasikan pada material konstruksi non-struktural sebagai bahan substitusi parsial atau bahan tambah. Fokus kajian awal ini berada pada identifikasi potensi teknis berdasarkan karakter fisik dan temuan penelitian terdahulu, bukan pada evaluasi kinerja struktural menyeluruh. Kesesuaian tersebut terutama relevan untuk aplikasi yang menitikberatkan pada kuat tekan moderat dan pengendalian daya serap air. Pendekatan bertahap ini sejalan dengan praktik pengembangan material alternatif yang menempatkan kajian awal sebagai fondasi ilmiah.

Pemanfaatan abu boiler kelapa sawit pada material konstruksi non-struktural dapat dipandang sebagai opsi yang rasional dan prospektif. Konsistensi temuan dari berbagai penelitian terdahulu menunjukkan adanya pola pengaruh yang dapat diprediksi sepanjang penggunaan abu boiler berada pada batas proporsi yang tepat. Kajian ini memberikan kerangka awal yang dapat digunakan sebagai dasar perancangan penelitian eksperimental lanjutan pada skala laboratorium maupun lapangan. Hasil tersebut diharapkan mampu mendorong pengembangan material konstruksi yang lebih berkelanjutan dan berbasis sumber daya lokal.

Analisis Terpadu Potensi Abu Boiler Kelapa Sawit sebagai Material Konstruksi Non-Struktural

Pembahasan ini menempatkan abu boiler kelapa sawit sebagai bagian dari spektrum limbah industri yang selama dua dekade terakhir semakin intensif dikaji untuk pemanfaatan berkelanjutan, baik pada sektor pertanian, lingkungan, maupun konstruksi. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa residu pembakaran biomassa kelapa sawit memiliki karakteristik fisik dan kimia yang adaptif terhadap berbagai aplikasi, mulai dari perbaikan sifat tanah hingga bahan campuran material bangunan non-struktural (Alfian et al., 2015; Mulyani, 2019; Nurjanah et al., 2025). Material non-struktural memegang peranan penting karena berkontribusi terhadap kinerja fungsional bangunan tanpa menanggung beban utama struktur, sebagaimana ditegaskan dalam kajian elemen non-struktural bangunan modern (Devin & Fanning, 2019). Penilaian awal terhadap abu boiler kelapa sawit tidak hanya relevan dari sisi teknis, tetapi juga strategis dalam konteks pengelolaan limbah industri berbasis ekonomi sirkular (Gusri et al., 2025).

Jika dibandingkan dengan limbah industri sejenis seperti fly ash dan abu sekam padi, abu boiler kelapa sawit menunjukkan kesamaan fungsi utama sebagai bahan pengisi halus dan sumber silika reaktif dengan potensi sifat pozolan. Fly ash telah terbukti meningkatkan kinerja mekanik dan menurunkan emisi karbon pada beton non-struktural ketika digunakan pada kadar optimal (Tiorivaldi & Abriantoro, 2025). Abu sekam padi juga dilaporkan mampu meningkatkan kualitas paving block dan bata beton, terutama pada aspek kepadatan dan kuat tekan (Syuhada et al., 2025). Kesetaraan fungsional ini menempatkan abu boiler kelapa sawit pada posisi yang layak untuk dibandingkan secara konseptual, meskipun variabilitas proses pembakaran biomassa sawit menghasilkan karakteristik yang lebih heterogen dibandingkan fly ash berbasis batubara (Satriani et al., 2022).

Heterogenitas tersebut tercermin dari temuan-temuan empiris yang menunjukkan bahwa kualitas abu boiler sangat dipengaruhi oleh jenis bahan bakar, suhu pembakaran, serta sistem boiler yang digunakan di pabrik kelapa sawit. Gunawan et al. (2018) dan Rahman & Fathurrahman (2017) mencatat bahwa variasi kadar silika dan kalsium pada abu boiler berdampak langsung pada performa beton

campuran, khususnya pada kuat tekan awal dan akhir. Dalam non-struktural, fluktuasi ini tidak selalu menjadi kendala utama, namun tetap memerlukan pengendalian proporsi agar kinerja material berada dalam rentang standar teknis yang dapat diterima. Hal serupa juga terlihat pada pemanfaatan abu boiler dalam stabilisasi tanah gambut dan timbunan jalan, yang menunjukkan peningkatan parameter teknis meskipun bersifat sangat kontekstual terhadap kondisi awal material (Bernavida & Wulandari, 2021; Dwina et al., 2022).

Relevansi pemanfaatan abu boiler kelapa sawit semakin menguat ketika ditinjau dari lintas sektor, di mana residu ini telah lama diaplikasikan pada bidang pertanian dan lingkungan sebagai pemberih tanah dan adsorben. Penelitian Najmia et al. (2021) serta Abdillah & Aldi (2020) menunjukkan bahwa produk turunan limbah kelapa sawit mampu memperbaiki sifat fisik dan kimia media tanah secara signifikan. Temuan tersebut mengindikasikan adanya reaktivitas mineral dan stabilitas material yang dapat diterjemahkan ke dalam aplikasi konstruksi non-struktural, terutama pada produk yang tidak menuntut presisi mekanik setinggi elemen struktural utama. Pengalaman lintas sektor ini menjadi basis konseptual yang kuat untuk memperluas pemanfaatan abu boiler ke ranah material bangunan.

Pada tahap kajian awal ini analisis kesesuaian terhadap standar mutu material non-struktural dilakukan melalui pendekatan komparatif berbasis data sekunder dari penelitian terdahulu dan laporan teknis. Parameter yang lazim digunakan dalam evaluasi material non-struktural meliputi kuat tekan minimum, daya serap air, serta kestabilan dimensi, yang secara umum telah diterapkan pada bata beton, paving block, dan elemen sejenis (Satriani et al., 2022; Baharuddin et al., 2021).

Hasil-hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa abu boiler kelapa sawit, ketika digunakan dalam proporsi terbatas, mampu menghasilkan nilai kuat tekan yang sebanding dengan material non-struktural berbasis limbah lain. Temuan ini sejalan dengan kecenderungan penggunaan limbah plastik dan biomassa sebagai substitusi parsial material konvensional dalam konstruksi ramah lingkungan (Nelfia et al., 2023). Untuk memperkuat analisis komparatif tersebut, Tabel 1 menyajikan ringkasan data teknis dari berbagai sumber penelitian dan laporan resmi yang relevan dengan penggunaan limbah industri sebagai material non-struktural.

Tabel 2. Perbandingan Karakteristik Teknis Limbah Industri pada Aplikasi Non-Struktural

Jenis Limbah	Aplikasi Non-Struktural	Kuat Tekan (MPa)	Daya Serap Air (%)	Sumber
Fly Ash	Paving block, beton non-struktural	15–25	5–10	Tiorivaldi & Abriantoro (2025)
Abu Sekam Padi	Bata beton, paving block	12–22	6–12	Syuhada et al. (2025)
Abu Boiler Kelapa Sawit	Bata beton, paving block	10–20	7–14	Satriani et al. (2022); Emda et al. (2023)
POFA (Palm Oil Fuel Ash)	Timbunan jalan, beton ringan	8–18	8–15	Dwina et al. (2022)

Data pada tabel tersebut menunjukkan bahwa secara kuantitatif, abu boiler kelapa sawit berada dalam rentang kinerja yang sebanding dengan limbah industri lain yang telah lebih dahulu diterima dalam praktik konstruksi non-struktural. Meskipun nilai kuat tekan rata-ratanya cenderung lebih rendah dibandingkan fly ash, capaian tersebut masih berada dalam ambang batas kebutuhan material non-struktural seperti paving block dan bata beton ringan (Emda et al., 2023). Daya serap air yang relatif lebih tinggi mengindikasikan perlunya pengendalian komposisi campuran, namun tidak serta-merta meniadakan kelayakan material ini untuk aplikasi non-struktural. Pola serupa juga ditemukan pada penggunaan abu boiler dan residu kelapa sawit lain dalam campuran beton dan material perkerasan aspal (Matheus et al., 2023).

Keterbatasan utama dari kajian ini terletak pada sifatnya yang masih berbasis studi literatur dan analisis konseptual tanpa pengujian laboratorium langsung. Walaupun demikian, pendekatan ini memberikan gambaran awal yang komprehensif mengenai peluang dan risiko teknis pemanfaatan abu

boiler kelapa sawit. Pengalaman pemanfaatan limbah sawit pada berbagai aplikasi, mulai dari kompos, pupuk, hingga material konstruksi, menunjukkan konsistensi potensi material ini untuk dimodifikasi sesuai kebutuhan teknis (Sopa et al., 2021; Khair et al., 2018). Hal ini menegaskan bahwa keterbatasan yang ada lebih bersifat teknis-operasional daripada konseptual.

Pemanfaatan abu boiler kelapa sawit sebagai material konstruksi non-struktural juga berkontribusi pada pengurangan beban lingkungan industri kelapa sawit. Pengalihan limbah padat ke sektor konstruksi sejalan dengan upaya peningkatan efisiensi energi dan material di pabrik kelapa sawit (Gusri et al., 2025). Praktik ini juga memperluas spektrum material alternatif ramah lingkungan yang dapat digunakan dalam pembangunan infrastruktur skala kecil hingga menengah. Nilai tambah yang dihasilkan tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga ekologis dan ekonomis.

Abu boiler kelapa sawit memiliki posisi yang rasional dan menjanjikan sebagai kandidat material konstruksi non-struktural. Kesetaraan fungsional dengan fly ash dan abu sekam padi, dukungan data empiris dari penelitian terdahulu, serta pengalaman lintas sektor dalam pemanfaatan limbah sawit memperkuat dasar argumentasi ini. Meskipun kesimpulan yang ditarik masih bersifat indikatif, kajian awal ini memberikan arah yang jelas bagi penelitian eksperimental lanjutan untuk memastikan pemenuhan standar mutu secara kuantitatif. Pendekatan tersebut diharapkan mampu menjembatani potensi konseptual dengan penerapan teknis yang lebih luas dan terukur.

KESIMPULAN

Berdasarkan kajian awal yang dilakukan, limbah abu boiler kelapa sawit menunjukkan potensi signifikan sebagai bahan campuran dalam material konstruksi non-struktural, terutama karena karakteristik partikel halusnya yang berperan sebagai filler serta kandungan mineral anorganik yang berpotensi memberikan sifat pozolan, sehingga secara teoritis dapat meningkatkan kepadatan, ikatan antar partikel, kuat tekan, dan pengendalian daya serap air; pemanfaatannya secara konseptual diperkirakan dapat memenuhi standar mutu material non-struktural apabila digunakan dalam proporsi yang tepat, meskipun pengaruh ini masih bersifat indikatif dan memerlukan verifikasi melalui penelitian eksperimental. Penelitian lanjutan disarankan melakukan pengujian laboratorium untuk menentukan proporsi optimum, menganalisis karakterisasi kimia, mineralogi, dan mikrostruktur, serta menilai durabilitas dan aspek lingkungan-ekonomi guna mendukung penerapan abu boiler kelapa sawit secara berkelanjutan dan efektif dalam industri konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, M. H., & Aldi, M. (2020). Aplikasi limbah padat karet remah pada tanah Podsolik merah kuning terhadap ketersediaan hara makro dan perbaikan sifat fisika tanah. *EnviroScienteae*, 16(2), 264-275. <https://dx.doi.org/10.20527/es.v16i2.9658>
- Alfian, D. F., Nelvia, N., & Yetti, H. (2015). Pengaruh pemberian pupuk kalium dan campuran kompos tandan kosong kelapa sawit dengan abu boiler terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman bawang merah (*Allium Asacalonicum* L.). *Jurnal Agroteknologi*, 5(2), 1-6. <http://dx.doi.org/10.24014/ja.v5i2.1348>.
- Baharuddin, W., Budiman, E., & Jamal, M. (2021). Pemanfaatan Abu Kelapa Sawit Dan Serat Plastik Jenis PET Sebagai Bahan Campuran Dalam Pembuatan Bata Beton (Paving Block). *Teknologi Sipil: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 5(1), 12-18. <http://dx.doi.org/10.30872/ts.v5i1.6296>.
- Bernavida, F., & Wulandari, S. (2021). Stabilisasi Tanah Gambut Menggunakan Abu Boiler Kelapa Sawit Ditinjau Dari Nilai Cbr Laboratorium. *Rekayasa Sipil*, 15(1), 7-15. <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2021.015.01.2>.
- Devin, A., & Fanning, P. J. (2019). Non-structural elements and the dynamic response of buildings: A review. *Engineering Structures*, 187, 242-250. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.02.044>.
- Dwina, D. O., Nazarudin, N., Alfernando, O., Kumalasari, D., & Nofrina, T. (2022). Pengolahan POFA (Palm Oil Fuel Ash) dan Semen Sebagai Material Alternatif Timbunan Pilihan Jalan Untuk Perbaikan Infrastruktur Jalan. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 11(1), 78-87. <https://dx.doi.org/10.36055/fondasi.v0i0.13734>.
- Emda, F. A., Safriani, M., & Farizal, T. (2023). Analisa Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal dengan Campuran Abu Boiler Pada Proyek Jembatan di PT. Socfindo Kebun Seunagan. *Journal*

Of Civil Engineering Building And Transportation, 7(1), 132-137.
<https://doi.org/10.31289/jcebt.v7i1.8959>.

- Gunawan, H. C., Chrisna, D., & Lestiyowati, Y. (2018). Pemanfaatan Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Beton. *JeLAST: Jurnal Teknik Kelautan, PWK, Sipil, dan Tambang*, 5(2). <https://doi.org/10.26418/jelast.v5i2.26395>.
- Gusri, L., Putri, P. A., Manab, A., & Rabiula, A. (2025). Potensi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit Sebagai Upaya Meningkatkan Efisiensi Energi Di Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Ecocentrism*, 5(2), 119-130. <https://doi.org/10.36733/jeco.v5i2.12914>.
- Khair, R. M., Mizwar, A., & Rahmadayani, E. (2018). Pemanfaatan Lumpur Wastewater Treatment Plant Dan Abu Boiler Industri Refinery Dan Biodiesel Minyak Kelapa Sawit Dengan Sistem in Vessel Composting. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 4(2). <https://dx.doi.org/10.20527/jukung.v4i2.6584>.
- Matheus, A., Akhmadali, A., & Mukti, E. T. Pengaruh Penggunaan Abu Kelapa Sawit Sebagai Filler Pada Lapisan Perkerasan Aspal AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course). *JeLAST: Jurnal Teknik Kelautan, PWK, Sipil, dan Tambang*, 9(1). <https://doi.org/10.26418/jelast.v9i1.52886>.
- Mulyani, S. (2019). Pengaruh dosis kompos tandan kosong kelapa sawit yang di perkaya abu boiler terhadap sifat kimia tanah ultisol, pertumbuhan, produksi, kadar hara dan logam berat Pb pada tanaman sawi (*Brassica juncea* L.). *Dinamika Pertanian*, 35(1), 7-16. [https://doi.org/10.25299/dp.2019.vol35\(1\).7681](https://doi.org/10.25299/dp.2019.vol35(1).7681).
- Najmia, H., Mahreda, E. S., Mahyudin, R. P., & Kissinger, K. (2021). Pemanfaatan Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit Teraktivasi H3PO4 untuk Penurunan Kadar Besi (Fe), Mangan (Mn) dan Kondisi pH pada Air Asam Tambang. *EnviroScientiae*, 17(1), 30-37. <https://dx.doi.org/10.20527/es.v17i1.11351>.
- Nelfia, L. O., Damayanti, J., Irfan, A. O., Kuswanda, G. F., Artiyasa, M., & Sungkar, M. H. (2023). Percontohan penggunaan kembali sampah plastik untuk material konstruksi sebagai alternatif bahan yang ramah lingkungan di kampung Sinar Resmi, Sukabumi. *Jurnal Abdi Nusa*, 3(3), 240-249. <https://doi.org/10.52005/abdinusa.v3i3.199>.
- Nurjanah, R. F., Mahbub, M., & Ifansyah, H. (2025). Pengaruh Pemberian Kombinasi Limbah Decanter Solid dan Abu Boiler Kelapa Sawit terhadap Perubahan Beberapa Sifat Kimia Tanah Ultisols: The Effect of Combining Palm Oil Decanter Cake and Palm Oil Boiler Ash on Changes in Several Chemical Properties of Ultisols Soil. *Acta Solum*, 3(2), 75-85. <https://doi.org/10.20527/actasolum.v3i2.2883>.
- Rahman, F., & Fathurrahman, F. (2017). Pemanfaatan hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengganti pasir pada pembuatan beton normal. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 6(1), 30-40. <https://doi.org/10.33084/mits.v6i1.259>.
- Satriani, S., Permatasari, S., & Agustina, S. (2022). Studi pemanfaatan limbah abu kerak boiler terhadap kualitas bata beton. *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 12(1), 94-100. <http://dx.doi.org/10.24127/tp.v12i1.2326>.
- Sopa, S. M., Fajarfika, R., Nurdiana, D., & Rismayanti, A. Y. (2021). Pemberian berbagai dosis kompos tandan kosong dan Abu boiler limbah kelapa sawit terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.). *JAGROS: Jurnal Agroteknologi dan Sains (Journal of Agrotechnology Science)*, 6(1), 12-29. <https://doi.org/10.52434/jagros.v6i1.1616>.
- Syuhada, S., Prayogi, G. R., Sembiring, S. D. A., & Kurniawan, R. (2025). Optimalisasi Paving Block: Penggunaan Limbah Polimer Dan Abu Sekam Padi Sebagai Material Substitusi. *Jmts: Jurnal Mitra Teknik Sipil*. <https://doi.org/10.24912/jmts.v8i2.31278>.
- Tiorivaldi, T., & Abriantoro, A. P. (2025). Pemanfaatan Fly Ash Dalam Beton Scc: Analisis Emisi Karbon Dan Kinerja Mekanik. *Jurnal Kajian Teknik Sipil*, 10(2), 123-132. <https://doi.org/10.52447/jkts.v10i2.8552>.