



**PROSES PEMBUATAN DAN ANALISA STRUKTUR GENTENG BETON
BERBAHAN SEMEN, CaCO_3 , AIR DIPERKUAT
ABU BOILER**

***MANUFACTURING PROCESS AND STRUCTURAL ANALYSIS OF CONCRETE
ROOF TILES MADE FROM CEMENT, CaCO_3 , AND WATER REINFORCED WITH
BOILER ASH***

Nobel Lukas¹, Pada Mulia Raja^{2*}, Zakwan³, Syarifah Aini Pasaribu⁴, Aida Farida⁵

^{1,2,3,5}Program studi Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Fakultas Vokasi, Institut
Teknologi Sawit Indonesia

⁴Program studi Budidaya Perkebunan, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sawit Indonesia

*Corresponding Email : padamulia@itsi.ac.id

Abstract

In residential construction, the roof is a crucial component that protects the building from weather elements. Conventional concrete roof tiles typically require large amounts of cement, resulting in relatively high production costs. Costs can be reduced by partially substituting cement with boiler ash and calcium carbonate (CaCO_3) and optimizing the water content; this approach aims to produce concrete tiles that are more economical, lightweight, environmentally friendly, and possess adequate compressive strength. Therefore, scientific research into the production of concrete tiles using cement, boiler ash, CaCO_3 , and water is warranted.

This study was conducted in the Workshop Engineering laboratory at the Institut Teknologi Sawit Indonesia (ITSI) Medan from October to December 2025. A non-factorial Completely Randomized Design (CRD) was employed, featuring three treatments and four replications: S1 (40% cement, 30% boiler ash, 5% CaCO_3 , 25% water), S2 (35% cement, 30% boiler ash, 5% CaCO_3 , 30% water), and S3 (30% cement, 30% boiler ash, 5% CaCO_3 , 35% water), resulting in a total of 12 concrete tile samples. Data were analyzed using quantitative descriptive methods—specifically by calculating the mean values for each treatment—to identify differences resulting from varying material compositions. The observed parameters were water absorption (%) and compressive strength (MPa).

The research results indicate that treatment S1 produced the highest quality concrete tiles, evidenced by the lowest water absorption (2.44%) and the highest compressive strength (18.33 MPa), compared to S2 (4.91% absorption, 10.20 MPa strength) and S3 (11.55% absorption, 3.31 MPa strength). These differences demonstrate that variations in material composition influence the density and strength of the tiles. A higher cement-to-water ratio has been shown to increase material density and the compressive strength of roof tiles, whereas increased water content tends to raise porosity and reduce tile quality. Utilizing boiler ash solid waste as a substitute for fine aggregates can reduce cement consumption without compromising tile quality, while CaCO_3 serves effectively as a filler to enhance structural density and surface smoothness; thus, both materials can be optimally utilized to produce high-quality concrete roof tiles.

Keywords: *Cement, Boiler ash, CaCO_3 , Water.*

How to Cite: Lukas, N., Raja, P.M., Zakwan., Pasaribu, S.A., Farida, A. (2026). Proses Pembuatan Genteng Beton Berbahan Semen, CaCO_3 , Air dan Abu Boiler. Jurnal Agro Fabrica Vol.8 (1) : 70 –77.

PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan bahan bangunan di Indonesia menuntut inovasi dalam penyediaan material konstruksi yang efisien, ekonomis, dan mudah diaplikasikan. Berbagai penelitian telah dilakukan dengan tujuan menemukan teknik konstruksi yang lebih efektif serta bahan bangunan yang tersedia dalam jumlah besar dengan biaya terjangkau (Tririvaldi 2025).

Dalam teknologi beton, material dapat berfungsi sebagai perekat pendamping semen (cementitious/pozzolan material) jika memiliki kandungan silika SiO_2 dan alumina Al_2O_3 yang tinggi (Andi T, 2021). Abu boiler (terutama dari pembakaran cangkang dan serat kelapa sawit pada suhu tinggi 500–700°C) merupakan material pozzolanik buatan yang sangat kaya akan senyawa silika amorf SiO_2 , dengan kadar mencapai 89,91%. Ketika abu boiler yang halus dicampur dengan air dan semen, silika aktif di dalamnya akan bereaksi dengan kalsium hidroksida Ca(OH)_2 yang merupakan produk sampingan dari hidrasi semen yang tidak memiliki daya rekat. Reaksi pozzolanik ini menghasilkan *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H) gel tambahan. Gel C-S-H inilah yang bertindak sebagai perekat sekunder untuk mengisi pori-pori mikro, meningkatkan kepadatan (*density*), mengurangi penyerapan air, dan mendongkrak kuat tekan serta sifat fisik-mekanik dari genteng beton (Mariah, 2020).

Produksi kelapa sawit menghasilkan berbagai jenis limbah, baik padat, cair, maupun gas. Limbah padat, terutama cangkang dan serat tandan kosong (TBS), selama ini dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler dalam proses penggilingan minyak sawit (Zakwan, 2025).

Proses pembakaran ini menghasilkan abu boiler, yang sebagian besar dibuang di sekitar pabrik sehingga menimbulkan penumpukan limbah. Abu boiler memiliki kandungan silika (SiO_2) yang tinggi, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam industri konstruksi, khususnya pada pembuatan beton (Muthusamy, 2025).

Menurut Dewi (2025) Dalam konstruksi bangunan, genteng merupakan elemen penting sebagai penutup atap yang berfungsi melindungi bangunan dari panas matahari dan curahan air hujan. Genteng tradisional terbuat dari tanah liat, namun perkembangan ilmu pengetahuan memungkinkan penggunaan bahan tambahan, termasuk limbah industri, untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik genteng, seperti kekuatan, kepadatan, dan kemampuan meredam suara. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini akan memanfaatkan abu boiler dari cangkang dan serat TBS kelapa sawit serta CaCO_3 sebagai bahan tambahan dalam pembuatan genteng beton. Pendekatan ini bertujuan untuk mengurangi penggunaan semen tanpa mengurangi mutu genteng, sehingga diharapkan menghasilkan produk yang

ekonomis, kuat, ringan, dan ramah lingkungan, sekaligus menjadi alternatif pemanfaatan limbah perkebunan kelapa sawit secara optimal.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap Non-Faktorial yang terdiri atas 3 perlakuan dan 3 ulangan. Perlakuan ditentukan berdasarkan variasi komposisi semen, abu boiler, CaCO_3 , dan air dalam pembuatan genteng beton, yang disimbolkan dengan huruf (S).

Adapun perlakuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- S1 = 40% semen + 30% abu boiler + 5% CaCO_3 + 25% air
- S2 = 35% semen + 30% abu boiler + 5% CaCO_3 + 30% air
- S3 = 30% semen + 30% abu boiler + 5% CaCO_3 + 35% air

Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan menghitung nilai rata-rata dari setiap perlakuan. Data selanjutnya disajikan berdasarkan variasi komposisi bahan dalam pembuatan genteng beton untuk mengetahui perbedaan antarperlakuan.

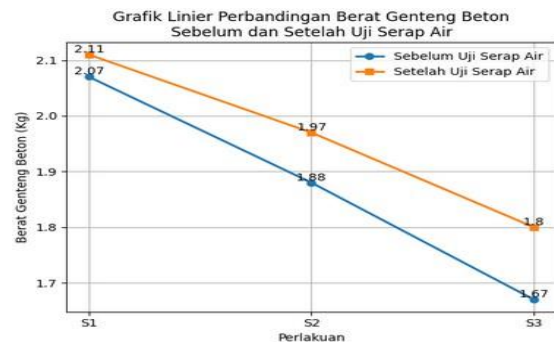
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas semen, abu boiler, kalsium karbonat (CaCO_3), dan air sebagai bahan utama pembuatan genteng beton. Bahan

pendukung yang digunakan meliputi triplek, sekrup, ember berkapasitas 25 liter, dan kayu balok. Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain obeng, pensil, meteran, gergaji, sendok semen, bor listrik, gelas ukur, timbangan, dan mesin uji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Massa Komposisi Bahan Genteng Beton

Massa komposisi bahan digunakan untuk mengetahui jumlah masing-masing



komponen yang diperlukan dalam pembuatan genteng beton pada variasi komposisi abu boiler 30%, CaCO_3 5% dan air 40%. Sedangkan semen yang digunakan 25% s.d 35%. Massa komposisi bahan digunakan untuk mengetahui jumlah masing-masing komponen penyusun dalam satu unit genteng beton serta pengaruh proposinya terhadap mutu fisik yang dihasilkan

Berdasarkan Grafik Linier Perbandingan Berat Genteng Beton Sebelum dan Setelah Uji Serap Air, terlihat tren penurunan berat total genteng seiring perubahan variasi perlakuan komposisi bahan,

sekaligus terdapat selisih kenaikan massa yang merepresentasikan volume air yang terserap oleh pori-pori genteng.

Karakteristik ini serupa dengan temuan pada penelitian Purba (2023), di mana manipulasi persentase serat secara langsung memengaruhi densitas fisis dan kapasitas penyerapan air (*water absorption*) berdasarkan prasyarat mutu SNI 0096:2007

Data berat bahan untuk setiap perlakuan disajikan pada Tabel 1. Massa Komposisi Bahan Genteng

Tabel 1. Massa Komposisi Bahan Genteng Beton (gram)

Perlakuan	Komponen Bahan			
	Semen	Abu Boiler	CaCO ₃	Air
S1	1,1b	0,15a	0,94a	0,94a
S2	0,91b	0,15a	0,94a	1,1b
S3	0,70a	0,15a	0,94a	1,2b

Ket : Notasi yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan berdasarkan uji lanjut DMRT pada taraf 1% dan 5%.

Berdasarkan Tabel Berdasarkan hasil analisis varians (ANOVA) yang dilanjutkan dengan uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf kepercayaan 1% dan 5% (Tabel 1), diketahui bahwa variasi perlakuan memberikan pengaruh yang berbeda nyata hingga berbeda sangat nyata terhadap komponen utama penyusun genteng beton, khususnya semen dan air. Namun, variasi perlakuan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap proporsi bahan tambah (*filler*) abu boiler dan kalsium karbonat CaCO₃.

Massa semen menurun secara signifikan pada perlakuan S3 (0,70a) dibanding S1 (1,1b). Sebaliknya, volume air meningkat nyata dari S1 (0,94a) ke S3 (1,2b). Perubahan ini mendorong nilai Faktor Air Semen (FAS) secara drastis dari 0,85 (S1) menjadi 1,71 (S3). Lonjakan FAS yang terkonfirmasi nyata secara statistik ini memicu penumpukan air bebas yang tidak bereaksi saat hidrasi. Ketika genteng mengering, air tersebut menguap dan meninggalkan rongga kapiler (*void*), yang menjelaskan penurunan berat kering serta pembengkakan daya serap air pada grafik pengujian sebelumnya.

Kedua bahan ini memiliki notasi homogen (a), membuktikan perannya sebagai variabel kontrol yang konstan. Namun, akibat penyusutan massa semen pada S3, rasio pengikat terhadap pengisi (*binder-to-filler*) menjadi tidak seimbang. Kurangnya volume pasta semen menyebabkan partikel silika aktif dari abu boiler dan mikro CaCO₃ tidak terselimuti dengan sempurna (*under-cemented*). Reaksi pozzolanik sekunder untuk membentuk gel *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H) menjadi terhambat, sehingga kepadatan struktur makro genteng menurun.

Fenomena pembentukan *void* akibat ketidakseimbangan formula matriks-filler ini sejalan dengan penelitian komposit semen berserat oleh Ginting & Tarigan (2020) di *ResearchGate*, serta studi optimalisasi mikrostruktur abu boiler oleh Kurniawan

dkk. (2022) menegaskan pentingnya proporsi pasta semen ideal untuk meminimalkan porositas beton non-struktural standar SNI 0096:2007.

2. Uji Serap Air Genteng Beton (kg)

Pengujian daya serap air genteng beton dilakukan untuk mengetahui kemampuan genteng beton dalam menyerap air yang berkaitan dengan tingkat porositas dan kerapatan struktur material. Hasil pengujian daya serap air (Kg) genteng beton pada variasi komposisi semen, abu boiler, CaCO_3 , dan air disajikan pada Tabel 2 berikut.

Perlakuan	Rata-Rata Penyerapan Air (%)	Notasi DMRT Taraf (5%)
S1	6.2	a
S2	8.5	b
S3	11.85	c

Ket : Notasi yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan berdasarkan uji lanjut DMRT pada taraf 5%.

Berdasarkan Tabel 2, hasil uji lanjut DMRT pada taraf 5% menunjukkan bahwa variasi komposisi bahan memberikan pengaruh yang berbeda nyata secara signifikan terhadap daya serap air genteng beton. Nilai rata-rata penyerapan air terendah (terbaik) dicapai oleh perlakuan S1 (6,2%a), diikuti oleh S2 (8,5%b), dan nilai tertinggi pada perlakuan S3 (11,85%c).

Peningkatan daya serap air dari perlakuan S1 ke S3 berbanding lurus dengan kenaikan nilai Faktor Air Semen (FAS) serta pengurangan massa semen pengikat. Pada perlakuan S3, pengurangan semen hingga 0,70 gram dan peningkatan air hingga 1,2 gram

menyebabkan akumulasi air bebas yang tidak bereaksi selama proses hidrasi. Ketika genteng beton mengalami pengeringan, air bebas tersebut menguap dan meninggalkan rongga-rongga kapiler mikro (*void*) di dalam matriks komposit.

Keberadaan pori kapiler yang tinggi ini memicu sifat kapilaritas material, sehingga volume air yang terserap ke dalam genteng saat pengujian menjadi meningkat tajam. Ginting & Tarigan (2020) menyatakan bahwa peningkatan volume air da bahan berserat yang tidak diimbangi pasta semen optimum akan menurunkan kerapatan struktur komposit, sehingga menciptakan ruang kosong (*void*) yang meningkatkan kapasitas penyerapan air fisis produk berbasis semen.

Berdasarkan spesifikasi teknis dalam Standar Nasional Indonesia SNI 0096:2007 tentang Genteng Beton nilai ambang batas maksimum penyerapan air (porositas) yang diizinkan untuk genteng beton adalah maksimal 10%. Jika nilai penyerapan air melebihi batas tersebut, genteng dikategorikan terlalu porus dan berisiko tinggi mengalami rembesan serta pelapukan fisis.

Formulasi pada variasi S1 (notasi a) dan S2 (notasi b) menunjukkan performa ketahanan air yang sangat baik karena nilainya berada di bawah batas kritis 10%. Keberadaan pasta semen yang ideal pada S1 dan S2 mampu menyelimuti partikel abu boiler dan (CaCO_3)

secara homogen, sehingga efektif meminimalkan terbentuknya pori kapiler makro. Formula ini aman untuk diproduksi sebagai penutup atap komersial yang tahan cuaca.

3. Uji Kuat Tekan Genteng Beton

Pengujian kuat tekan genteng beton dilakukan untuk memperoleh nilai beban tekan maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji sebelum mengalami kerusakan. Nilai kuat tekan genteng beton dihitung dengan membagi beban tekan maksimum dengan luas penampang benda uji. Hasil pengujian kuat tekan (MPa) genteng beton pada variasi komposisi semen, abu boiler, CaCO_3 , dan air disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Kuat Tekan

Perlakuan	Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)	Notasi DMRT Taraf (5%)
S1	5.2	c
S2	3.8	b
S3	2.0	a

Ket : Notasi yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan berdasarkan uji lanjut DMRT pada taraf 5%.

Berdasarkan Tabel 2 Berdasarkan Tabel 2, hasil uji lanjut DMRT pada taraf 5% menunjukkan bahwa variasi perlakuan komposisi bahan memberikan pengaruh yang berbeda nyata secara signifikan terhadap kuat tekan genteng beton. Nilai rata-rata kuat tekan tertinggi dicapai oleh perlakuan S1 (5,2c) diikuti oleh S2 (3,8b), dan nilai terendah terdapat pada perlakuan S3 2.0a. Melalui korelasi standar SNI 0096:2007, komposisi pada perlakuan S1 merupakan

formula optimum yang paling direkomendasikan karena menghasilkan kombinasi densitas tertinggi, daya serap air paling rendah (6,2%), dan kuat tekan terbesar (5,2 MPa).

Penurunan kuat tekan dari perlakuan S1 ke S3 berkorelasi linear dengan pengurangan massa semen sebagai bahan pengikat utama dan peningkatan nilai Faktor Air Semen (FAS). Pada perlakuan S3, pengurangan semen hingga 0,70 gram. Hal ini memicu fenomena *under-cemented*, di mana volume pasta semen tidak cukup untuk menyelimuti agregat dan bahan pengisi (CaCO_3) serta abu boiler) secara merata (Prianti dkk, 2015).

Selain itu, kelebihan air bebas pada S3 (1,2gram) yang menguap pasca-proses hidrasi meninggalkan rongga kapiler (*void*) yang tinggi di dalam beton. Keberadaan rongga-rongga tersebut mengurangi luas penampang efektif genteng dalam menahan beban, sehingga mempercepat terjadinya kegagalan struktur saat pengujian mekanis dilakukan.

Partikel CaCO_3 yang berukuran mikro mampu mengisi celah di antara partikel semen dan abu boiler, sehingga mengurangi jumlah rongga internal dan meningkatkan kepadatan mikrostruktur (Effendi, 2025). Tingginya nilai kuat tekan pada perlakuan S3 mengindikasikan terbentuknya struktur genteng yang lebih padat dan kompak, sehingga mampu menahan beban tekan secara lebih efektif.

Kondisi ini sejalan dengan hasil uji daya serap air, di mana perlakuan S3 memiliki nilai daya serap air yang rendah, mencerminkan tingkat porositas material yang minimal. Sebaliknya, rendahnya nilai kuat tekan pada perlakuan S1 berkaitan dengan tingginya daya serap air, yang menandakan terbentuknya pori atau rongga internal yang lebih banyak sehingga material menjadi lebih rapuh dan mudah mengalami kerusakan saat diberi beban (Raja, Pada Mulia, 2019).

Perlakuan S2 menunjukkan nilai kuat tekan pada tingkat menengah, mencerminkan keseimbangan antara kerapatan struktur dan porositas material. Hubungan berbanding terbalik antara daya serap air dan kuat tekan yang ditunjukkan pada hasil penelitian ini menegaskan bahwa tingkat porositas material sangat menentukan mutu mekanik genteng beton (Hosen, 2025). Genteng beton dengan daya serap air rendah cenderung memiliki struktur mikro yang lebih padat, sehingga mampu menahan beban tekan yang lebih besar. Kondisi ini tampak jelas pada perlakuan S3 yang menunjukkan performa mekanik terbaik.

KESIMPULAN

1. Proses pembuatan genteng beton dengan bahan utama semen, CaCO_3 , Air dan Abu Boier dapat dilakukan melalui tahapan pencampuran material secara homogen,

pencetakan, pemadatan, yang terkontrol. Setiap tahapan berpengaruh langsung terhadap kualitas dan kekuatan struktur genteng yang dihasilkan.

2. Komposisi air yang lebih banyak dibandingkan semen terbukti meningkatkan kepadatan material dan kekuatan tekan genteng, sedangkan peningkatan kadar semen cenderung meningkatkan porositas dan menurunkan mutu genteng.
3. Penggunaan limbah padat abu boiler sebagai substansi pengganti agregat halus dapat mengurangi penggunaan semen tanpa menurunkan mutu genteng, sedangkan CaCO_3 efektif digunakan sebagai filler untuk meningkatkan kepadatan struktur dan kehalusan permukaan, sehingga kedua bahan dapat dimanfaatkan secara optimal untuk menghasilkan genteng beton berkualitas tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Andi, T., Sujiati J dan Joko., Suryono. (2021). Pemanfaatan Abu Cangkang Sawit (*Palm Oil Kernel Shell*) Sebagai bahan Subtitusi Semen Pada *Previous Concrete*. SNITT-Politeknik Negeri Balikpapan 2021.
- Badan Standardisasi Nasional. (2007). *SNI 0096:2007: Genteng Beton*. Jakarta: BSN.
- Dewi, S. S., dan Lamona, A. (2025). Pengaruh limbah cair kelapa sawit

- terhadap kesehatan lingkungan di PT Incasi Raya Group. *Jurnal Kesehatan Lentera 'Aisyiyah*, 8(1), 30–37.
- Efendi, M. A. M. (2025). Analisis beban lentur dan daya serap air pada genteng beton: Literatur review. *Jurnal Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang dan Teknik Sipil*, 3(4), 57–62
- Ginting, A., & Tarigan, J. (2020). Analisis Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Semen dengan Substitusi Bahan Pengisi Selulosa Alami. *Jurnal Fisika dan Aplikasi*, UNIMED Vol 2.No.1
- Hosen, K. (2025). Beton berkelanjutan dengan pemanfaatan limbah genteng keramik sebagai pengganti agregat batu bata. *Materials*, 18(13), 3093
- Kurniawan, R., dkk. (2022). Optimalisasi Mikrostruktur Beton Non-Struktural Memanfaatkan Limbah Pozzolanik Abu Boiler Kelapa Sawit. *Jurnal Infrastruktur Konstruksi* (via Garuda Kemdiktisaintek).
- Mardiah, A., dkk. (2020). Analisis Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Kelapa Sawit (*Palm Kernel Shell*) Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Jurnal Teknik Sipil*, Repository UKI Toraja.
- Muthusamy, S., Vengadesan, E., dan Mahendran, K. (2023). Kuat tekan beton yang mengandung limbah genteng sebagai pengganti sebagian agregat halus. *Key Engineering Materials*, 1230, 159–166.
- Prianti, E., dkk. (2015). Pemanfaatan Abu Kerak Boiler Hasil Pembakaran Limbah Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Parsial Pasir pada Pembuatan Beton. *POSITRON*, 5(1), 15-22
- Purba, Evri Y. (2023). Pemanfaatan Serat Daun Pandan Duri Sebagai Campuran Dalam Peningkatan Karakteristik Genteng Beton. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Medan
- Raja, Pada Mulia. 2019. “AGRO FABRICA Jurnal Teknik Pengolahan Hasil Perkebunan Kelapa Sawit Dan Karet Available Online.” *Agro Fabrica* 1(2): 7–15. <https://ejurnal.stipap.ac.id/index.php/JAF>.
- Tiorivaldi, A., & Abrianoro, B. (2025/2026). Kajian Awal Pemanfaatan Limbah Abu Boiler Kelapa Sawit Sebagai Material Konstruksi Non-Struktural. *Jurnal Inventa / Scripta Intelektual*.
- Zakwan, Dkk. (2025). Analisa Kehilangan Minyak (*Oil Losses*) Pada Proses Produksi di Pabrik Kelapa Sawit. *Journal Agro Fabrica* Vol 7. No.1 (2025)