

Analisis Karakteristik Genteng Keramik Hasil Campuran Limbah Abu Ampas Tebu dan Abu Terbang Batubara sebagai Pengganti Sebagian Tanah Lempung

Haryanto Adi Saputra¹, Ernawati Sri Sunarsih², Budi Siswanto³
Email: haryanto.ady18@student.uns.ac.id

Diterima : 27 Mei 2022
Disetujui : 5 September 2022
Terbit : 31 Desember 2022

Abstrak: Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggantian sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara pada karakteristik genteng keramik yang berupa berat jenis, porositas, kuat lentur, dan konduktivitas termal. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif eksperimen, untuk standar uji genteng keramik yang digunakan mengacu pada SNI 03-2095-1998. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh nilai minimum berat jenis pada penggunaan 30% abu ampas tebu dan 0% abu terbang batubara sebesar 1,408 gr/cm³. Nilai minimum porositas pada penggunaan 0% abu ampas tebu dan 30% abu terbang batubara sebesar 13,924%. Nilai maksimum kuat lentur pada penggunaan 0% abu ampas tebu dan 30% abu terbang batubara sebesar 113,32 kgf. Nilai minimum konduktivitas termal pada penggunaan 15% abu ampas tebu dan 15% abu terbang batubara sebesar 0,114 W/m.K. Kesimpulan dari penelitian ini didapatkan variasi campuran yang sesuai dengan mutu III pada SNI 03-2095-1998 yakni pada penggantian sebagian tanah lempung dengan 15% abu ampas tebu dan 15% abu terbang batubara dengan nilai berat jenis 1,558 gr/cm³, porositas 15,169%, kuat lentur 91,53 kgf, dan konduktivitas termal sebesar 0,114 W/m.K.

Kata Kunci: genteng; keramik; konduktivitas; termal; tebu

Abstract: The purpose of this study was to determine the effect of partially replacing clay with bagasse ash and coal fly ash to achieve a minimum value of specific gravity, minimum value of porosity, maximum value of flexural strength, and minimum value of ceramic tile thermal conductivity. This research is a quantitative experimental research, for ceramic tile test standards used refer to SNI 03-2095-1998. Based on the research results, the minimum specific gravity value for using 30% bagasse ash and 0% coal fly ash was 1.408 gr/cm³. The minimum value of porosity in the use of 0% bagasse ash and 30% coal fly ash is 13.924%. The maximum value of flexural strength using 0% bagasse ash and 30% coal fly ash was 113.32 kgf. The minimum value of thermal conductivity using 15% bagasse ash and 15% coal fly ash is 0.114 W/m.K. The conclusion from this study was that the mixture variations were in accordance with quality III on SNI 03-2095-1998, namely on the replacement of part of the clay with 15% bagasse ash and 15% coal fly ash with a specific gravity value of 1.558 gr/cm³, 15.169% porosity, flexural strength of 91.53 kgf, and a thermal conductivity of 0.114 W/m.K.

Keyword: ceramics; conductivity; roof tile; sugarcane; thermal

^{1,2,3} Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret

PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah penduduk serta meningkatnya perekonomian suatu negara berakibat pada meningkatnya pula kebutuhan mengenai gaya hidup masyarakatnya. Di era sekarang ini, memiliki rumah sudah menjadi bagian dari gaya hidup. Rumah merupakan salah satu kebutuhan yang penting. Kondisi perumahan menjadi salah satu indikator penentu tingkat kesejahteraan masyarakat. Keinginan memiliki sebuah tempat tinggal sudah menjadi suatu hal yang harus terpenuhi. Atap adalah salah satu bagian utama struktur rumah. Saat ini, ada banyak bahan jenis atap, diantaranya genteng keramik (tanah liat), metal, beton, asbes, seng, dan sebagainya. Dari berbagai macam jenis material atap tersebut, genteng keramik merupakan material atap yang paling banyak digunakan. Berdasarkan data yang dipublikasikan oleh Tim Koordinasi Penanggulangan Kemiskinan (TKPKD) Kabupaten Karanganyar (2019) menunjukkan bahwa genteng keramik masih banyak digunakan sebagai penutup atap bangunan rumah dikalangan masyarakat Kabupaten Karanganyar dengan persentase pengguna sebesar 92,6% dibandingkan dengan jenis atap lainnya.

Sebagai salah satu material bangunan yang sangat dibutuhkan, bahan utama dalam pembuatan genteng keramik adalah tanah lempung. Semakin meningkatnya permintaan genteng keramik mengakibatkan pula penggunaan tanah lempung yang semakin banyak. Dalam jangka Panjang hal ini dapat menyebabkan pendangkalan pada lapisan permukaan tanah sehingga diperlukan suatu bahan alternatif sebagai pengganti sebagian tanah lempung dalam pembuatan genteng keramik. Bahan yang digunakan sebagai pengganti sebagian tanah lempung haruslah memiliki sifat kimia yang tidak berbeda jauh dengan sifat kimia pada tanah lempung. Dalam penelitian ini bahan yang digunakan sebagai pengganti sebagian tanah lempung dalam pembuatan genteng keramik adalah abu ampas tebu dan abu terbang batubara.

Abu ampas tebu adalah limbah selulosa yang banyak kemungkinan pemanfaatannya.

Ampas tebu dapat dimanfaatkan sebagai kompos, *particle board*, bantalan rem, etanol, dan khususnya sebagai bahan bakar pemanas di pabrik pengolahan gula. Dalam proses pembuatan di pabrik gula, ampas tebu yang dihasilkan adalah 35% dari setiap tebu yang digunakan (Misran, 2005).

Berdasarkan data yang dipublikasikan oleh Direktorat Statistik Tanaman Pangan, (Hortikultural, 2021) Jawa Tengah menempati posisi ketiga dengan luas areal perkebunan tebu sebesar 31.973 hektar, dimana 13.755 hektar merupakan areal perkebunan dari PT Perkebunan Nusantara IX yang salah satu unit kerjanya merupakan PG Sondokoro Tasikmadu. Berdasarkan data dari (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2020) hasil panen tebu PT Perkebunan Nusantara IX pada bulan Mei 2020 sebesar 897.559 ton dengan produksi gula sebesar 67.266 ton dan limbah ampas tebu sebesar 314.145 ton.

Abu terbang batubara merupakan produk sampingan dari proses pembakaran batubara yang biasa dikaitkan dengan pembangkit tenaga listrik. Batubara adalah debu butiran halus yang terdiri dari *silica*, alumunia, dan berbagai oksida dan alkali. *Fly ash* bersifat *pozzolanic* dan dapat bereaksi dengan kapur terhidrasi untuk menghasilkan produk yang mengandung semen. Campuran tanah-kapur-*fly ash* didapatkan dalam kondisi terkontrol, dengan jumlah kelembaban yang tepat untuk mendapatkan lapisan tanah yang stabil. Campuran yang efektif dapat dibuat dengan 10 sampai 35% abu terbang dan 2 sampai 10% kapur (Das, 2011:766).

Berdasarkan data yang dipublikasikan oleh (Badan Pusat Statistika, 2020) tercatat pada tahun 2020 produksi batubara Indonesia sebesar 616 juta ton, dimana sebesar 67 juta ton batubara dimanfaatkan sebagai bahan baku pembangkit listrik dalam negeri. Kebutuhan batubara di PLTU Tanjung Jati B sendiri pada tahun 2019 sebesar 8,6 juta ton dengan limbah abu terbang yang dihasilkan sebesar 1,2 juta ton. Jumlah tersebut sangatlah besar, sehingga diperlukan pengolahan lebih lanjut, salah satunya sebagai bahan pengganti sebagian tanah

lempung pada proses pembuatan genteng keramik.

Berbagai penelitian menggunakan bahan tambah dalam pembuatan genteng keramik telah dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas genteng keramik. Salah satunya penelitian yang dilakukan oleh (Jamsawang *et al.*, 2017) menunjukkan bahwa limbah abu ampas tebu dapat digunakan untuk memperbaiki tanah liat lunak secara proyek rekayasa sipil untuk mengurangi masalah pencemaran lingkungan yang akan meningkatkan nilai limbah ampas tebu. Penggantian 20% limbah semen dengan limbah abu ampas tebu mampu meningkatkan kekuatan lempung lunak.

Abu ampas tebu juga dapat dimanfaatkan sebagai campuran genteng tanah liat. Penelitian yang dilakukan oleh (Hartono, 2012) menunjukkan penambahan 30% abu ampas tebu pada genteng tanah liat menghasilkan kuat lentur genteng tanah liat sebesar 179,641 kgf dimana kekuatan lentur minimum yang disyaratkan SNI 03-2095-1998 sebesar 170 kgf (mutu I).

Penelitian yang dilakukan oleh (Febriansyah, Tarkono and Zulhanif, 2013) menunjukkan bahwa penambahan limbah pada abu terbang batubara memberikan perubahan pada nilai kekuatan tekan dan porositas dibandingkan dengan genteng tanpa campuran limbah pada tabu terbang batubara. Nilai optimum untuk pengujian tekan dan porositas diperoleh pada genteng dengan campuran komposisi limbah pada tabu terbang batubara 5% dengan nilai rerata kekuatan tekannya yaitu 11,042 kPa dan nilai rerata porositas adalah 17,27%.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggantian sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara untuk mencapai nilai minimum berat jenis, nilai minimum porositas, nilai maksimum kuat lentur, dan nilai minimum konduktivitas termal genteng keramik.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pendidikan Teknik Bangunan Universitas

Sebelas Maret Surakarta untuk pengujian bahan, pengujian fisis dan mekanis genteng keramik. Sedangkan pengujian konduktivitas termal dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian kuantitatif eksperimen, yaitu mengambil suatu gambaran mengenai pengaruh penggantian Sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara terhadap nilai fisis, mekanis, dan konduktivitas termal genteng keramik.

Sampel yang digunakan yaitu benda uji genteng keramik. Pada tabel berikut akan dijelaskan banyaknya sampel dalam satu varian. Dimana seluruh sampel yang ada merupakan anggota dari populasi.

Tabel 1. Jumlah Sampel

Persentase Campuran			Jumlah Sampel
TL	AAT	FA	
100%	-	-	18
70%	30%	-	18
70%	25%	5%	18
70%	20%	10%	18
70%	15%	15%	18
70%	10%	20%	18
70%	5%	25%	18
70%	-	30%	18

Uji Berat Jenis

Pengujian berat jenis genteng keramik dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis } (\rho) = \frac{m}{v} \quad (1)$$

dimana:

ρ = Berat jenis genteng keramik (gr/cm³)

m = Berat genteng keramik (gram)

v = Volume genteng keramik (cm³)

Uji Porositas

Pengujian porositas dilakukan sesuai dengan SNI 03-2095-1998. Persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$\text{Porositas } (\%) = \frac{M_b - M_k}{M_k} \times 100\% \quad (2)$$

dimana:

M_b = Massa basah benda uji (gram)

Mk = Massa kering benda uji (gram)

Uji Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan sesuai dengan SNI 03-2095-1998. Persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$K = \frac{3 \times G \times P}{2 \times l \times t^2} \quad (3)$$

$$G = m \times g \quad (4)$$

dimana:

- K = Kuat lentur (kgf)
- G = Gaya (N)
- P = Jarak tumpu (mm)
- l = Lebar benda (mm)
- t = Tebal benda (mm)
- m = Massa (kg)
- g = Gravitasi bumi (9,81 N/kg)

Uji Konduktivitas Termal

Pengujian konduktivitas termal dilaksanakan sesuai ASTM E1225 dengan menggunakan mesin OSK 4565 *Thermal Conductivity*. Persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$Q = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad (5)$$

dimana:

- k = Konduktivitas termal (Kcal/mh°C)
- Q = Laju perpindahan kalor (Kcal)
- A = Luas penampang (m²)
- T₁ = Suhu awal (°C)
- T₂ = Suhu akhir (°C)
- Δx = Tebal sampel (m)

Pengolahan data lanjutan digunakan analisis regresi, yaitu untuk mengetahui berapa besar pengaruh penggantian Sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara terhadap berat jenis, porositas, kuat lentur, dan konduktivitas termal genteng keramik. Sebelum dilakukan analisis regresi, beberapa persyaratan analisis yang harus terpenuhi adalah pengujian normalitas untuk mengetahui distribusi data, uji homogenitas untuk mengetahui data bersifat homogen atau tidak, dan uji linieritas untuk mengetahui linier atau tidaknya data pada variabel terikat. Analisis regresi untuk

mengetahui berapa besar pengaruh penggantian sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara terhadap nilai berat jenis, porositas, kuat lentur, dan konduktivitas termal genteng keramik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Berat Jenis

Berikut merupakan hasil dari pengujian berat jenis genteng keramik:

Tabel 2. Pengujian Berat Jenis

Persentase Campuran	Berat Jenis (gr/cm ³)
100%:0%:0%	1,779
70%:30%:0%	1,432
70%:25%:5%	1,465
70%:20%:10%	1,505
70%:15%:15%	1,534
70%:10%:20%	1,602
70%:5%:25%	1,644
70%:0%:30%	1,742

Berdasarkan tabel di atas, terlihat berat jenis semakin naik seiring bertambahnya jumlah abu terbang batubara dalam genteng keramik.

Pengujian Porositas

Berikut ini merupakan hasil dari pengujian porositas genteng keramik:

Tabel 3. Pengujian Porositas

Persentase Campuran	Porositas (%)
100%:0%:0%	18,3
70%:30%:0%	16,5
70%:25%:5%	15,7
70%:20%:10%	16
70%:15%:15%	15,2
70%:10%:20%	14,4
70%:5%:25%	14,1
70%:0%:30%	14,2

Dari tabel diatas terlihat bahwa porositas terus mengalami penurunan seiring dengan

bertambahnya jumlah abu terbang batubara dalam genteng keramik

Pengujian Kuat Lentur

Dengan menggunakan mesin *Universal Testing Machine* diperoleh data kuat lentur genteng keramik:

Tabel 4. Pengujian Kuat Lentur

Persentase Campuran	Porositas (%)
100%:0%:0%	88,92
70%:30%:0%	83,79
70%:25%:5%	74,03
70%:20%:10%	75,48
70%:15%:15%	91,53
70%:10%:20%	98,48
70%:5%:25%	83,47
70%:0%:30%	113,32

Dari tabel di atas, pada komposisi 2 dan 3 kuat lentur mengalami penurunan, sedangkan pada komposisi 4 sampai 6 kuat lentur mengalami kenaikan. Pada komposisi 7 kuat lentur Kembali mengalami penurunan dan mencapai kenaikan paling tinggi terdapat pada komposisi 8. Pada komposisi 3 dan 4 kuat lentur tidak memenuhi persyaratan minimum SNI 03-2095-1998 dengan kuat lentur masing-masing sebesar 74,03 kgf dan 75,48 kgf.

Pengujian Konduktivitas Termal

Dengan menggunakan mesin OSK 4565 *Thermal Conductivity* didapatkan nilai konduktivitas termal genteng keramik:

Tabel 5. Pengujian Konduktivitas Termal

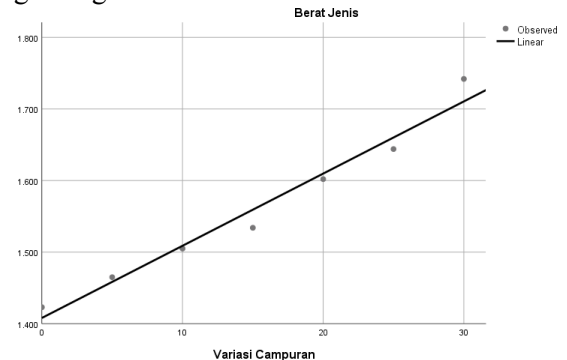
Persentase Campuran	Konduktivitas Termal (W/m.K)
100%:0%:0%	0,116
70%:30%:0%	0,119
70%:25%:5%	0,156
70%:20%:10%	0,127
70%:15%:15%	0,114
70%:10%:20%	0,137
70%:5%:25%	0,156
70%:0%:30%	0,124

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas pada komposisi 2 sampai 3 mengalami kenaikan, selanjutnya pada komposisi 4 dan 5 mengalami penurunan, pada komposisi 6 dan 7 kembali mengalami kenaikan dan pada komposisi 8 kembali mengalami penurunan nilai konduktivitas termal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berat Jenis

Hasil yang didapatkan pada pengujian berat jenis genteng keramik, penggantian sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara menunjukkan adanya pengaruh kuat terhadap berat jenis genteng keramik sebesar 97%.



Gambar 1. Grafik Hubungan Antara Penggantian Sebagian Tanah Lempung Terhadap Berat Jenis Genteng Keramik

Berdasarkan gambar di atas, nilai berat jenis tertinggi terdapat pada komposisi 8 sebesar 1,708 gr/cm³. Penurunan nilai berat jenis terjadi setelah ditambahkan dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara. Dilihat dari gambar 4.5 penurunan maksimal terjadi pada persentase 30% abu ampas tebu, sedangkan seiring bertambahnya penggunaan abu terbang batubara nilai berat jenis juga semakin meningkat. Hal ini sejalan dengan Clarke dalam *Forest* (2017:36), yang menyatakan bahwa berat jenis *fly ash* batubara adalah sebesar 1,90 – 2,7 gr/cm³. Ketika *fly ash* batubara tersebut dicampurkan ke dalam adukan tanah lempung, *fly ash* menggantikan volume dari tanah lempung, dapat dipastikan berat jenis tanah lempung akan digantikan dengan berat jenis *fly ash* batubara. Hal tersebut juga berlaku pada

penggunaan bahan pengganti yang lainnya, itu sebabnya mengapa penggunaan abu ampas tebu dan abu terbang batubara memiliki nilai berat jenis yang lebih rendah daripada genteng keramik tanpa bahan pengganti.

Hasil pengujian bahan didapatkan nilai berat jenis tanah lempung sebesar $2,4 \text{ gr/cm}^3$, abu ampas tebu $1,2 \text{ gr/cm}^3$, dan abu terbang batubara sebesar $2,2 \text{ gr/cm}^3$, sehingga memberikan pengaruh kuat terhadap penurunan nilai berat jenis genteng keramik. Nilai berat jenis genteng keramik terendah terdapat pada komposisi 2 dengan perbandingan 70% tanah lempung, 30% abu ampas tebu, dan 0% abu terbang batubara sebesar $1,408 \text{ gr/cm}^3$. Sedangkan pada komposisi 3 sampai 8 mengalami kenaikan sesuai bertambahnya persentase penggunaan abu terbang batubara.

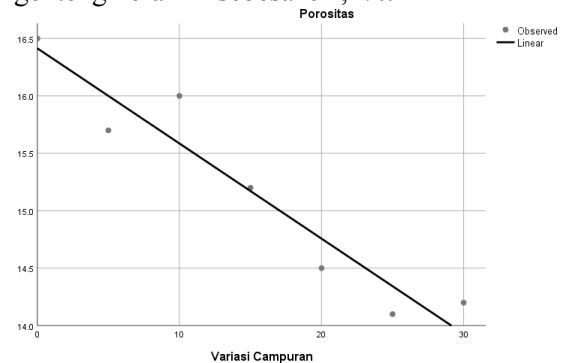
Berdasarkan gambar 1 dapat dilihat bahwa semua persentase penggantian sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara didapatkan nilai berat jenis dibawah nilai berat jenis genteng keramik tanpa penggantian tanah lempung ($< 1,8 \text{ gr/cm}^3$). Dari gambar 1 diperoleh hasil berat jenis terendah sebesar $1,408 \text{ gr/cm}^3$ terdapat pada variasi penggantian sebagian tanah lempung dengan 30% abu ampas tebu dan 0% abu terbang batubara pada komposisi 2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggantian sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara dengan persentase tertentu akan menurunkan nilai berat jenis genteng keramik.

Kelebihan genteng keramik dengan berat jenis rendah adalah menjadikan genteng sebagai penutup atap yang ringan dan akan menghasilkan beban struktur yang lebih kecil. Berat jenis yang rendah akan mendapatkan berat struktur yang ringan serta beban gempa yang kecil, secara umum struktur lebih aman terhadap gempa.

Porositas

Hasil yang didapatkan pada pengujian porositas genteng keramik, penggantian sebagian tanah lempung dengan abu ampas

tebu dan abu terbang batubara menunjukkan adanya pengaruh kuat terhadap porositas genteng keramik sebesar 91,1%.



Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Penggantian Sebagian Tanah Lempung Terhadap Porositas Genteng Keramik

Berdasarkan gambar di atas, nilai porositas minimum terdapat pada komposisi 8 sebesar 13,924%. Nilai porositas tertinggi terdapat pada komposisi 2 sebesar 16,414%. Nilai porositas pada genteng keramik tanpa bahan campuran paling tinggi disebabkan karena rongga yang terdapat pada genteng keramik terlalu besar/banyak sehingga air mudah masuk ke dalamnya. Hal ini sesuai dengan pendapat (Febriansyah, Tarkono and Zulhanif, 2013) yang menyatakan bahwa penggunaan abu terbang batubara dengan komposisi yang tepat akan mengurangi daya serap air pada pembuatan genteng keramik. Pada penggunaan abu ampas tebu dan abu terbang batubara nilai rata-rata porositas mengalami penurunan, hal ini dikarenakan partikel abu ampas tebu dan abu terbang batubara yang lebih kecil sehingga mampu mengisi rongga yang terdapat pada genteng keramik. Bahkan seiring penambahan abu terbang batubara, nilai porositas genteng keramik mengalami penurunan hal ini dikarenakan silika yang terdapat pada kedua bahan tersebut yang bereaksi dengan tanah lempung sehingga mampu memperkuat hubungan antar partikel yang ada di dalamnya. Menurut SNI 03-2095-1998 untuk porositas genteng keramik rata-rata mutu I maksimal sebesar 12%, mutu II maksimal 15%, dan mutu III maksimal 20%. Dari gambar 4.6 didapatkan nilai porositas paling rendah pada komposisi 8 sebesar

13,924%, sehingga genteng keramik komposisi 8 masuk kedalam mutu II.

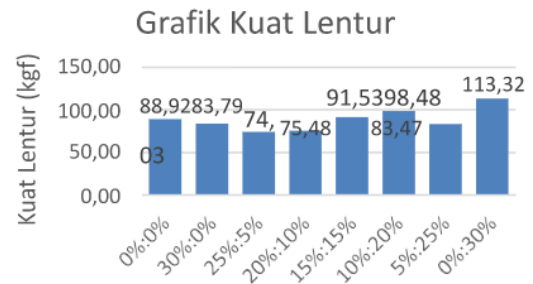
Berdasarkan gambar 2 dapat dilihat bahwa persentase penggantian sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara didapatkan semua komposisi nilai porositasnya sesuai dengan nilai porositas yang disyaratkan oleh SNI 03-2095- 1998 yakni mutu I sampai mutu III. Dari gambar 2 didapatkan nilai porositas paling rendah terdapat pada persentase penggunaan tanah lempung sebesar 70%, abu ampas tebu 0%, dan abu terbang batubara 30% sebesar 13,924% (komposisi 8).

Porositas merupakan salah satu cara untuk mengetahui kualitas genteng keramik. Data porositas didapatkan dari nilai genteng basah dan nilai genteng kering. Porositas pada suatu material dinyatakan dalam persen (%). Semakin banyak porositas yang terdapat pada genteng keramik maka semakin rendah kekuatannya, begitu pula sebaliknya.

Pada komposisi 2 porositas menunjukkan nilai penyerapan air yang cukup tinggi, hal ini dikarenakan butir-butir tidak mengalami ikatan yang sempurna sehingga rongga-rongga yang ada di dalam genteng keramik sangat banyak. Rongga-rongga ini berasal dari partikel tanah yang mengalami penyusutan akibat berkurangnya air. Apabila genteng keramik dengan porositas tinggi di pasang pada konstruksi atap, maka akan menyerap air hujan lebih banyak. Dampaknya yaitu genteng keramik akan mudah bocor dan mudah retak yang mengakibatkan genteng keramik menjadi tidak awet, sehingga diperlukan genteng keramik yang memiliki kualitas baik dalam hal penyerapan air.

Kuat Lentur

Hasil yang didapatkan pada pengujian kuat lentur genteng keramik, penggantian sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara menunjukkan adanya pengaruh rendah terhadap porositas genteng keramik sebesar 52,8 kgf.



Gambar 3. Pengujian Kuat Lentur Genteng Keramik

Pada gambar 3 terlihat bahwa kuat lentur pada komposisi 1 (100% tanah lempung) sebesar 88,92 kgf. Kuat lentur mulai mengalami penurunan setelah adanya penggantian sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara. Pada komposisi 2 mengalami penurunan sebesar 83,79 kgf dan komposisi 3 mengalami penurunan paling rendah sebesar 74,03 kgf. Seiring bertambahnya abu terbang batubara dan berkurangnya abu ampas tebu, nilai kuat lentur mengalami kenaikan. Pada komposisi 4 mengalami kenaikan sebesar 75,48 kgf dibandingkan komposisi 3, komposisi 5 sebesar 91,53 kgf, dan komposisi 6 sebesar 98,48 kgf. Pada komposisi 7 kuat lentur kembali mengalami penurunan sebesar 83,47 kgf dan pada komposisi 8 nilai kuat lentur paling tinggi sebesar 113,32 kgf.

Penggantian sebagian tanah lempung dengan 30% abu terbang batubara menghasilkan nilai kuat lentur yang semakin meningkat karena kandungan silika pada abu terbang batubara sebagai perekat dalam pencampuran dengan tanah lempung menjadikan butiran-butiran pada genteng keramik semakin rapat dan menghasilkan kuat lentur yang cenderung tinggi. Hal tersebut sejalan dengan pendapat Febriansyah, (Tarkono and Zulhanif, 2013) yang menyatakan bahwa porositas yang besar akan mengakibatkan kuat lentur yang semakin kecil. Menurut SNI 03-2095-1998 untuk kuat lentur rata-rata mutu I adalah 170 kgf, mutu II sebesar 110 kgf, dan mutu III sebesar 80 kgf. Dari gambar 4 didapatkan nilai kuat lentur yang masih sesuai dengan

standar yang digunakan dalam SNI dengan nilai kuat lentur paling besar pada komposisi 8 yaitu 113,32 kgf. Dalam penelitian ini, nilai kuat lentur tertinggi tergolong pada kuat lentur mutu II.

Berdasarkan gambar 3 dapat dilihat bahwa persentase penggantian sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara terdapat beberapa komposisi yang nilai kuat lenturnya tidak memenuhi nilai kuat lentur yang disyaratkan oleh SNI 03-2095-1998 yakni mutu I sampai mutu III. Dari gambar 4.3 didapatkan nilai kuat lentur paling tinggi terdapat pada persentase penggunaan tanah lempung 70%, abu ampas tebu 0%, dan abu terbang batubara 30% sebesar 113,32 kgf (komposisi 8).

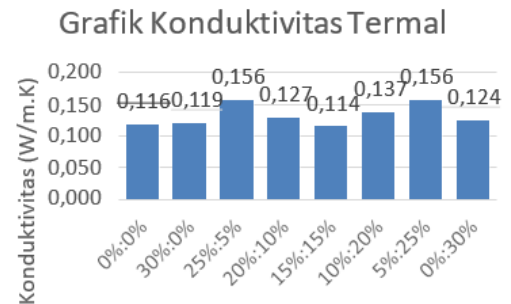
Penggunaan abu ampas tebu diatas 15% mampu menurunkan nilai kuat lentur genteng keramik, sedangkan penggunaan abu terbang batubara diatas 15% mampu menaikkan nilai kuat lenturnya. Hal ini dikarenakan abu terbang batubara mengandung senyawa *silica-alumunia* aktif sehingga mampu bereaksi dengan *calcium hidrokksida* pada suhu kamar dan adanya air pada kadar tertentu dapat membentuk senyawa stabil yang mempunyai sifat mengikat.

Kuat lentur merupakan salah satu cara untuk mengetahui kualitas genteng keramik. Data kuat lentur didapatkan dari hasil pengujian laboratorium menggunakan mesin *Universal Testing Machine*. Semakin tinggi nilai kuat lentur genteng keramik berpengaruh terhadap keawetan genteng tersebut, sehingga genteng tidak mudah pecah baik dalam proses pengangkutan maupun waktu pemasangannya.

Konduktivitas Termal

Hasil analisis deskriptif menunjukkan adanya pengaruh yang sangat rendah pada penggantian sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara terhadap nilai konduktivitas termal genteng keramik yang ditunjukkan pada nilai *R Square* sebesar 0,013 yang didapatkan dari hasil SPSS. Konduktivitas termal mempunyai satuan W/m.K, adalah kemampuan material

untuk berkonduksi panas. Material yang mempunyai *conductivity* rendah mempunyai daya isolator yang baik. Sebaliknya jika material yang mempunyai *conductivity* tinggi merupakan material penghantar panas yang baik.



Gambar 4. Pengujian Konduktivitas Termal Genteng Keramik

Dari gambar 4 dapat dilihat nilai konduktivitas termal yang mengalami kenaikan dan penurunan. Dalam hal pengujian konduktivitas termal diambil nilai yang terkecil sehingga rambatan panas pada sampel genteng keramik mampu mengurangi suhu yang tinggi pada ruangan. Nilai konduktivitas paling tinggi terdapat pada komposisi 4 (25% abu ampas tebu dan 5% abu terbang batubara) dan komposisi 7 (5% abu ampas tebu dan 25% abu terbang batubara) sebesar 0,156 W/m.K, sedangkan nilai konduktivitas termal paling rendah terdapat pada komposisi 5 (15% abu ampas tebu dan 15% abu terbang batubara) sebesar 0,114 W/m.K. Selanjutnya pada komposisi 2 sampai 4 mengalami kenaikan. Setelah terjadinya penurunan pada komposisi 5, nilai konduktivitas termal mengalami kenaikan lagi pada komposisi 6 dan 7, selanjutnya nilai konduktivitas termal mengalami penurunan pada komposisi 8 sebesar 0,124 W/m.K.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggantian sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara akan menaikkan nilai konduktivitas termal genteng, namun dengan persentase optimal penggunaan abu ampas tebu dan abu terbang batubara akan menurunkan nilai konduktivitas termal genteng keramik. Hal ini dikarenakan partikel abu ampas tebu dan abu terbang batu bara lebih kecil daripada

partikel tanah, sehingga mampu menutupi pori-pori yang ditinggalkan oleh tanah lempung. Selain mengakibatkan menurunnya nilai konduktivitas termal genteng, hal ini juga mengakibatkan menurunkan porositas genteng yang dicetak.

Berdasarkan gambar 4 dapat dilihat bahwa persentase penggantian sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara hampir semua komposisi nilai konduktivitas termalnya diatas dari nilai konduktivitas termal genteng normal ($> 0,116 \text{ W/m}\cdot\text{oK}$). Dari gambar 4.4 didapatkan nilai konduktivitas termal paling rendah terdapat pada persentase penggunaan tanah lempung 70%, abu ampas tebu 15%, dan abu terbang batubara 15% sebesar $0,114 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ atau satu-satunya komposisi yang nilai konduktivitas termalnya dibawah genteng tanpa bahan pengganti.

Atap merupakan bagian bangunan yang pertama kali terkena panas matahari, sehingga diperlukan material penutup atap yang memiliki sifat penghantar panas rendah. Kelebihan genteng keramik dengan nilai konduktivitas rendah yakni sebagai bahan isolator yang baik sehingga udara di dalam ruangan tetap sejuk dan membuat penghuni bangunan lebih nyaman. Semakin tinggi suatu material dalam menghantarkan panas maka semakin panas juga ruangan didalamnya, begitu pula sebaliknya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggantian sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara berpengaruh signifikan terhadap berat jenis genteng keramik sebesar 97%. Penggantian sebagian tanah lempung dengan 30% abu ampas tebu dan 0% abu terbang batubara merupakan komposisi paling optimal untuk mencapai nilai berat jenis minimum sebesar $1,408 \text{ gr/cm}^3$.
2. Penggantian sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara berpengaruh signifikan

terhadap porositas genteng keramik. Penggantian sebagian tanah lempung dengan 0% abu ampas tebu dan 30% abu terbang batubara merupakan komposisi paling optimal untuk mencapai nilai porositas minimum genteng keramik sebesar 13,924%.

3. Penggantian sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara berpengaruh tidak signifikan terhadap kuat lentur genteng keramik. Penggantian sebagian tanah lempung dengan 0% abu ampas tebu dan 30% abu terbang batubara merupakan komposisi paling optimal untuk mencapai nilai maksimum kuat lentur genteng keramik sebesar 113,32 kgf.
4. Penggantian sebagian tanah lempung dengan abu ampas tebu dan abu terbang batubara berpengaruh tidak signifikan terhadap konduktivitas termal genteng keramik. Penggantian sebagian tanah lempung dengan 15% abu ampas tebu dan 15% abu terbang batubara merupakan komposisi paling optimal untuk mencapai nilai minimum konduktivitas termal genteng keramik sebesar $0,114 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.
5. Dari hasil pengujian didapatkan variasi campuran yang sesuai dengan mutu III pada SNI 03-2095-1998 yakni pada penggantian sebagian tanah lempung dengan 15% abu ampas tebu dan 15% abu terbang batubara dengan nilai berat jenis $1,558 \text{ gr/cm}^3$, porositas 15,169%, kuat lentur 91,53 kgf, dan konduktivitas termal sebesar $0,114 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

SARAN

Berdasarkan kesimpulan hasil penelitian, dapat disampaikan saran sebagai berikut:

1. Untuk membuat genteng keramik berkualitas tinggi, yang memiliki nilai berat jenis rendah, porositas rendah, kuat lentur tinggi, dan konduktivitas termal rendah, maka genteng keramik harus dibuat dengan pekerjaan yang intensif seperti yang diharapkan sehingga campuran yang dihasilkan merata seluruhnya.

2. Dalam penelitian ini masih terdapat banyak kelemahan, seperti faktor alat dan faktor pelaksanaan penelitian harus diperhatikan semaksimal mungkin untuk menunjang kesempurnaan hasil penelitian dan pengembangan penelitian lebih lanjut untuk bahan pengganti selain abu ampas tebu dan abu terbang batubara pada genteng keramik sehingga dihasilkan kualitas genteng yang lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- 03-2095-1998, S. N. I. (no date). *Genteng Keramik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, p. 12.
- Das, B. M. (2011). *Principles of Foundation Engineering*. 7th edn. Edited by H. Gowans. Stamford: Global Engineering.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2020). *Hasil Taksasi Awal 2020*. Surabaya: Direktorat Jenderal Perkebunan, p. 1. Available at: <http://ditjenbun.pertanian.go.id>.
- Direktorat Statistik Tanaman Pangan, Hortikultural, dan P. (2021). *Statistik Tebu Indonesia 2020*. 1st edn. Edited by dan P. Direktorat Statistik Tanaman Pangan, Hortikultural. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Febriansyah, P., Tarkono and Zulhanif. (2013). Pengaruh Penambahan Limbah Padat Abu Terbang Batubara (Fly Ash) Terhadap Kekuatan Tekan Dan Porositas Genteng Tanah Liat Kabupaten Pringsewu. *Jurnal Fema*, 1, pp. 1–6.
- Hartono, I. F. (2012) *Penggunaan Limbah Abu Ampas Tebu untuk Campuran Genteng Tanah Liat*. Skripsi. Universitas Jember.
- Jamsawang, P. et al. (2017). Improvement of soft clay with cement and bagasse ash waste. *Construction and Building Materials*, 154, pp. 61–71. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.188.
- Karanganyar, T. K. P. K. (TKPKD) K. (2019). *Data Jenis Atap di Karanganyar*. Available at: <https://sik.karanganyarkab.go.id/>.
- Misran, E. (2005). Industri Tebu Menuju Zero Waste Industry. *Jurnal Teknologi Proses*, 4(2), pp. 6–10.
- Statistika, B. P. (2020). *Statistik Pertambangan Non Minyak dan Gas Bumi 2015 - 2020*. 1st edn, Direktorat Statistik Industri. 1st edn. Edited by D. S. Industri. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Technique, C. H. F. (2014). *Standard Test Method for Thermal Conductivity of Solids Using the Guarded*, pp. 1–10. doi: 10.1520/E1225-13.2.