



STUDI AWAL POTENSI CANGKANG TELUR SEBAGAI BAHAN BAKU BIO-KALSIUM OKSIDA MELALUI PROSES *SINTERING* DAN ANALISIS (*X-ray Fluorescence*) XRF: STUDI KASUS DARI LAMPUNG

Vastigo Satria N^{1*}, Tumpal Ojahan R²

^{1,2}Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Malahayati

Corresponden Email: tumpal_ojahan@yahoo.com¹

Abstract

Eggshell is a household waste that is rich in calcium carbonate (CaCO₃) and has potential as a bio-calcium oxide (CaO) raw material. Lampung Province, one of Indonesia's egg production centers, produces a considerable amount of eggshells; however, the processing has not been optimal. This study aims to evaluate the utilization of eggshells as raw material for CaO through sintering and characterization using X-ray fluorescence (XRF). The processing included washing, drying, grinding, and roasting at 900°C. XRF analysis showed a CaO content of 98.865%, with minimal impurities. The findings suggest that local eggshells can serve as an alternative raw material for CaO, supporting the circular economy in MSMEs and communities, while also being environmentally friendly for both the agricultural and industrial sectors.

Keywords: *eggshell, CaCO₃, CaO, bio-calcium, sintering, XRF, Lampung*

Abstrak

Cangkang telur merupakan limbah rumah tangga yang kaya akan kalsium karbonat (CaCO₃) dan memiliki potensi sebagai bahan baku *bio-kalsium oksida* (CaO). Provinsi Lampung, sebagai salah satu pusat produksi telur di Indonesia, menghasilkan jumlah cangkang telur yang cukup besar; namun, pemrosesannya belum optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pemanfaatan cangkang telur sebagai bahan baku CaO melalui proses sintering dan karakterisasi menggunakan analisis *X-ray fluoresensi* (XRF). Proses yang dilakukan meliputi pencucian, pengeringan, penggilingan, dan pembakaran pada suhu 900°C. Analisis XRF menunjukkan kandungan CaO sebesar 98,865% dengan impuritas minimal. Temuan ini menunjukkan bahwa cangkang telur lokal dapat menjadi sumber alternatif bahan baku CaO, mendukung ekonomi sirkular di usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM) serta komunitas, sekaligus ramah lingkungan untuk sektor pertanian dan industri.

Kata Kunci: *cangkang telur, CaCO₃, CaO, bio-calcium, kalsinasi, XRF, Lampung*

PENDAHULUAN

Produksi telur broiler yang meningkat tidak hanya berdampak positif pada sektor pangan, tetapi juga menghasilkan sejumlah besar limbah padat, khususnya cangkang telur, dalam jumlah besar. Cangkang telur, yang umumnya hanya dianggap sebagai limbah rumah tangga atau industri pengolahan makanan, sebenarnya mengandung 89,7%-98,41% *kalsium karbonat* (CaCO₃) (Stadelman, W. J., & Cotterill, O. J., 2013; Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung, 2025; Purwaningsih W.D., et al., 2021). Salah satu sumber kalsium alami yang melimpah ini belum dimanfaatkan secara optimal. Kalsium karbonat dari cangkang telur dapat diubah menjadi *kalsium oksida* (CaO) melalui kalsinasi pada suhu tinggi. CaO adalah senyawa anorganik penting yang digunakan secara luas di berbagai bidang. Dalam pertanian, ia digunakan sebagai pupuk dan pengatur pH tanah. Dalam konstruksi, CaO digunakan sebagai bahan bangunan, dalam semen, dan sebagai pengisi. Dalam bidang pengolahan limbah, ia digunakan sebagai adsorben, dan bahkan CaO digunakan di bidang biomedis sebagai bahan aktif dalam tulang buatan.

Provinsi Lampung adalah salah satu daerah penghasil telur terbesar di Indonesia. Misalnya, menurut data BPS tahun 2024, produksi telur dari unggas di Lampung mencapai 247.934.988 kg (Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung, 2025). Dengan asumsi 12,39% dari berat telur adalah bagian dari cangkang, diperkirakan terdapat potensi limbah cangkang telur mencapai 30.719.145 ton di Provinsi Lampung (Habiyah U., et al, 2016). Namun, sebagian besar limbah cangkang telur hanya berakhir di tempat pembuangan sementara atau tempat pembuangan akhir.

Beberapa studi telah menunjukkan potensi cangkang telur sebagai prekursor CaO, tetapi sebagian besar masih dilakukan di luar konteks lokal Indonesia, apalagi di Provinsi Lampung (Hsieh, et al., 2021; Nath, et al., 2021; Hemmami, et al., 2021; Ali, et al., 2023; Putra, et al., 2017; Zuchra Helwani, et al., 2020; Djayasinga, et al., 2024). Pemanfaatan cangkang telur sebagai bahan baku untuk bahan fungsional di tingkat regional adalah kesenjangan penelitian yang signifikan untuk dijumpai.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi cangkang telur rumah tangga dari Lampung sebagai sumber *bio-kalsium oksida* (bio-CaO) melalui sintering dan karakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Penelitian ini diharapkan menjadi langkah pertama dalam mengembangkan bahan fungsional berbasis limbah lokal, yang dapat berkontribusi pada pembangunan ekonomi sirkular dan keberlanjutan industri kecil di Lampung.

TINJAUAN PUSTAKA

Ekonomi Sirkular dan Pemanfaatan Limbah Organik

Ekonomi sirkular adalah sistem ekonomi yang beralih dari konsep "akhir masa pakai" bahan (bahan mentah) menjadi daur ulang, meningkatkan efektivitas bahan mentah dalam proses produksi, distribusi, dan konsumsi yang bertujuan untuk mencapai pembangunan berkelanjutan guna menjaga kualitas lingkungan dan meningkatkan kesejahteraan sosial-ekonomi masyarakat (Julian K. & Hekkert M.P., 2017). Ekonomi sirkular merupakan ekonomi transisi, serta pengembangan dari ekonomi linier yang terlalu menekankan aktivitas manusia tanpa memperhatikan konsep lingkungan sebagai sumber daya yang harus dirawat dan dipelihara secara berkelanjutan. Transisi ini dilakukan untuk mencapai pembangunan berkelanjutan yang berorientasi pada sinergi antara pertumbuhan ekonomi dan perlindungan lingkungan, serta menuju ekonomi yang lebih ramah lingkungan.

Ekonomi linier beroperasi berdasarkan prinsip produksi, konsumsi, dan pembuangan. Prinsip ini menunjukkan bahwa model ekonomi linier tidak berkelanjutan. Sebaliknya, prinsip-prinsip ekonomi sirkular didasarkan pada konsep 3R, yaitu mengurangi, menggunakan kembali, dan mendaur ulang (Kristanto & Nadapdap, 2021).

Pemanfaatan limbah organik adalah proses pengolahan dan penggunaan kembali limbah yang berasal dari sumber organik, seperti sisa makanan, daun, dan limbah pertanian. Limbah ini biasanya dapat terurai secara hayati dan dapat diolah menjadi berbagai produk bermanfaat (Akankali & Nwafili, 2015). Tujuan pemanfaatan limbah organik adalah mengurangi jumlah limbah yang masuk ke tempat pembuangan akhir (Pleissner, et al., 2024). Metode pemanfaatan limbah organik dilakukan dengan

teknik komposting, yaitu mengolah limbah organik melalui proses penguraian alami (Bremaghani, 2024).

Karakteristik Kimia Cangkang Telur

Cangkang telur terdiri dari sekitar 2% air dan 98% materi kering (Pebrianti & Ilyas, 2024). Sebagian besar materi kering dalam cangkang telur berasal dari abu, yang menyumbang 79-93%, dan protein, yang menyusun 3-5% (Wijiniyah A., et al., 2023). Cangkang telur mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) sebesar 94%, magnesium karbonat (MgCO_3) sebesar 1%, dan kalsium fosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) sebesar 4% (Hunton, P., & Galt, S., 2005). Secara fungsional, cangkang telur berfungsi sebagai penghalang eksternal yang secara efektif menghambat infiltrasi mikroorganisme ke dalam sel (Waheed, M. et al., 2019).

Prinsip Kerja dan Aplikasi Analisis *X-ray Fluorescence* (XRF)

X-ray Fluoresensi (XRF) adalah teknik analisis non-destruktif yang digunakan untuk menentukan komposisi unsur dari bahan. Alat XRF portabel bekerja dengan mengukur sinar-X fluoresen (atau sekunder) yang dipancarkan dari sampel ketika terpapar sumber sinar-X primer. Prinsip kerja instrumen *X-Ray Fluorescence* (XRF) adalah menentukan komposisi kimia suatu bahan dengan mengukur sinar-X fluoresen (atau sekunder) yang dipancarkan dari sampel ketika terangsang oleh sumber sinar-X primer (Mona Sari, et al., 2021). Dengan rangsangan sinar-X primer ini, setiap unsur dalam sampel menghasilkan serangkaian sinar-X fluoresen yang spesifik dan unik untuk unsur tersebut, yang berfungsi sebagai sidik jari material (Sari, et al., 2021).

Compound Annual Growth Rate (CAGR)

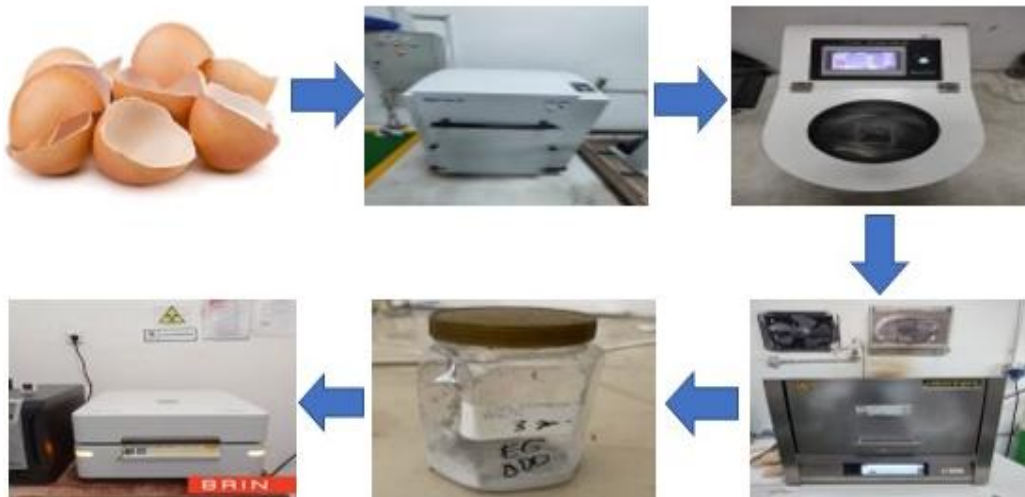
Compound Annual Growth Rate (CAGR) adalah tingkat pertumbuhan tahunan rata-rata dari suatu investasi selama beberapa tahun terakhir, yang digunakan untuk periode lebih dari satu tahun (Desmiarti, et al., 2022). Menghaluskan efek volatilitas nilai periodik dapat membuat rata-rata aritmatika kurang bermakna. Ini sangat berguna untuk membandingkan tingkat pertumbuhan dari berbagai nilai data, seperti pertumbuhan pendapatan perusahaan atau nilai ekonomi, dari waktu ke waktu (Chan, 2012). *Compound Annual Growth Rate* (CAGR) dapat dihitung menggunakan rumus yang dapat dilihat pada **Persamaan 1**.

$$\text{CAGR (\%)} = (\text{Ending Value} \div \text{Beginning Value})^{(1 \div \text{Number of Periods})} - 1$$

METODE PENELITIAN

Metodologi dalam studi ini dirancang untuk mengevaluasi potensi cangkang telur sebagai bahan baku untuk bio-kalsium oksida melalui serangkaian proses fisik dan termal, serta analisis komposisi kimia menggunakan analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF). Metode ini mencakup persiapan sampel,

kalsinasi (*sintering*), dan karakterisasi kimia dari material yang disinter. Proses ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Pengolahan Cangkang Telur menjadi CaO

Cangkang telur broiler digunakan sebagai bahan baku dalam studi ini, yang diperoleh dari limbah rumah tangga di daerah Bandar Lampung. Proses persiapan, kalsinasi, dan karakterisasi komposisi kimia dilakukan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) di Laboratorium Mineral Terintegrasi Badan Riset dan Inovasi Nasional, Tanjung Bintang, Lampung.

Penelitian ini juga menerapkan kerangka ekonomi sirkular dalam tahap desain dan analisis. Pendekatan ini dilakukan dengan mengidentifikasi potensi sumber limbah lokal berdasarkan data produksi telur di Provinsi Lampung, kemudian memperkirakan volume limbah cangkang telur yang tersedia sebagai bahan baku sekunder. Selanjutnya, hasil sintering yang diperoleh dianalisis tidak hanya dari segi komposisi kimia, tetapi juga dari segi potensinya di sektor lokal seperti pertanian, pengolahan limbah, dan bahan konstruksi ringan.

Untuk mendukung kelayakan ekonomi sirkular jangka panjang, proyeksi ketersediaan bahan baku untuk lima tahun ke depan juga dilakukan, dengan asumsi pertumbuhan produksi telur yang dihitung berdasarkan data produksi telur pada tahun-tahun sebelumnya. Melalui integrasi data sektoral, pendekatan teknis, dan pemetaan aliran nilai, penelitian ini memposisikan proses konversi limbah organik sebagai bagian dari strategi limbah-ke-sumber yang dapat diperluas dan berbasis konteks lokal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Cangkang Telur yang Dikalsinasi

Hasil analisis XRF menunjukkan bahwa senyawa dominan dalam sampel cangkang telur yang dikalsinasi adalah *kalsium oksida* (CaO), yang mencapai 98,865%. Nilai ini sangat tinggi dan melebihi nilai rata-rata CaO dari sumber kapur alami dan hasil konversi cangkang telur yang dilaporkan dalam berbagai sumber literatur, seperti yang ditunjukkan dalam **Table 1**. Ini menunjukkan bahwa bahan

baku lokal dari Lampung memiliki kemurnian dan kualitas tinggi yang setara dengan bahan baku industri yang berasal dari batu kapur, meskipun diperoleh dari limbah rumah tangga dan diproses menggunakan metode sederhana

Table 1. Perbandingan Komposisi Cangkang Telur Antar Negara

Negara	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	SrO	ZnO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Referensi
Africa	89.2	-	0.49	0.15	-	-	0.08	0.63	Ibeabuchi, et al, 2023
Bangkok	97.8	0.656	-	0.059	0.019	-	-	0.255	Tangboriboon, 2018
Iraq	56.71	0.693	0.0708	-	0.256	-	-	0.327	Qasem, 2023
Makassar (Indonesia)	58.22	1.6	-	-	-	-	20.6	-	Wakila, 2023
Malaysia	63	0.99	5.7	-	-	-	2.9	-	Arshad, 2025
Nigeria	97.08	0.544	0.255	0.103	0.263	-	0.013	1.266	Ayolaa, 2025
Spain	53	0.61	-	0.06	-	-	0.01	-	Vázquez, 2024
Thailand	99.06	0.2	-	0.04	0.05	-	-	<0.01	Tangboriboon, 2012
Turkey	95	0.6	-	0.088	0.058	0.049	-	0.14	Kalayci, 2025
Lampung (Indonesia)	98.865	0.201	0.280	0.444	0.124	0,071	-	-	This Study

Ada sejumlah kecil oksida/unsur yang dapat memengaruhi sifat fungsional dari aplikasi material cangkang telur. *Magnesium Oxide* (MgO) adalah senyawa yang sering muncul sebagai kotoran alami dalam biomineral. Dalam jumlah tertentu, MgO dapat meningkatkan stabilitas termal CaO. Namun, jika berlebihan, dapat mengurangi reaktivitas terhadap air dan gas asam.

Kehadiran senyawa *Aluminium Oxide* (Al₂O₃) dapat memengaruhi mikrostruktur pori ketika material ini diterapkan dalam sistem bioceramic atau adsorpsi. Senyawa *kalium oxide* (K₂O) bersifat higroskopis dan bereaksi dengan mudah terhadap kelembapan. Jika digunakan sebagai pupuk atau campuran mortar, K₂O dapat berkontribusi pada reaktivitas awal.

Senyawa *zinc oxide* (ZnO), meskipun dalam jumlah kecil (bagian per juta, ppm), menunjukkan sifat antimikroba dan bioaktif. Kehadiran senyawa ZnO dapat memperkaya aplikasi CaO dari material teknik menjadi material fungsional di bidang lingkungan dan biomedis. *Strontium oxide* (SrO) diketahui berperan penting dalam bioaktivitas tulang. Kehadirannya, meskipun minor, dapat menjadi nilai tambah jika material ini dikembangkan untuk digunakan sebagai *scaffold* tulang atau tulang buatan.

Selain itu, senyawa oksida lain yang mungkin terdapat dalam cangkang telur, seperti TiO₂, MnO, dan CuO, yang terjadi dalam konsentrasi minimal, tidak menimbulkan risiko negative langsung dalam konteks aplikasi non-elektronik.

Interpretasi Proses Konversi Termal

Suhu 900 °C yang digunakan dalam studi ini berada dalam rentang optimal yang memaksimalkan pelepasan CO₂ dan membentuk fase CaO yang stabil. Fakta bahwa kandungan CaO mencapai >98% menunjukkan bahwa pemrosesan dengan durasi penahanan selama 1 jam dan laju

pemanasan 10 °C/menit sudah cukup untuk konversi lengkap, tanpa pembentukan fase antara yang tidak diinginkan seperti Ca(OH)₂ atau Ca₂SiO₄, seperti dalam reaksi.



Idealnya, analisis ini dapat dilengkapi dengan XRD atau FTIR untuk mendeteksi perubahan spesifik dalam struktur kristal dan kelompok karbonat. Namun, dalam studi ini, hasil XRF yang menunjukkan dominasi CaO di atas 98% dapat dianggap sebagai indikator yang valid dari efisiensi sintering pada skala laboratorium. Hasil ini menjadi titik awal yang penting untuk studi lebih lanjut, yang akan melibatkan analisis termal yang lebih kompleks.

Potensi Aplikasi Material dan Implikasi Ekonomi Sirkular

Berdasarkan hasil karakterisasi XRF, cangkang telur yang dikalsinasi menghasilkan senyawa CaO berkualitas tinggi (>98%), dengan kandungan kotoran yang sangat rendah. Kemurnian ini membuka peluang untuk pemanfaatan produk sintering sebagai material fungsional dalam berbagai aplikasi teknis dan lingkungan, antara lain:

1. Pupuk Berbasis *Kalsium Oksida* (CaO)

Memainkan peran penting dalam pengelolaan kesuburan tanah, terutama di konteks di mana tanah memiliki pH rendah atau bersifat asam. Penggunaan CaO tidak hanya berfungsi untuk menetralkan keasaman tanah tetapi juga menyediakan elemen kalsium tambahan yang penting bagi berbagai jenis tanaman. Di Indonesia, khususnya di Lampung Tengah dan Lampung Timur, yang terkenal dengan pengembangan hortikultura dan perkebunan, masalah tanah asam cukup umum. Oleh karena itu, permintaan untuk kapur pertanian di wilayah ini tinggi, mengingat pentingnya menjaga kualitas tanah untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang optimal. Dengan demikian, penggunaan pupuk berbasis CaO diharapkan dapat memberikan solusi efektif dalam mengatasi masalah ini dan meningkatkan produktivitas pertanian di daerah tersebut.

2. Adsorben Efektif Untuk Logam Berat Dan Gas -Asam

Kalsium Oksida (CaO) dikenal memiliki kemampuan yang sangat tinggi untuk mengikat ion logam berat, seperti timbal (Pb²⁺), *zinc* (Zn²⁺), dan tembaga (Cu²⁺). Selain itu, CaO menunjukkan afinitas yang kuat terhadap gas asam, termasuk *karbon dioksida* (CO₂) dan *sulfur dioksida* (SO₂). Keunggulan ini sangat signifikan dalam konteks pengolahan limbah cair yang dihasilkan oleh berbagai industri rumah tangga, termasuk industri pembuatan tahu dan tempe, kegiatan peternakan kecil, dan pengelolaan limbah organik. Adsorben ini sangat relevan di daerah seperti Metro dan Lampung Selatan, di mana pengelolaan limbah yang tepat diperlukan untuk menjaga kesehatan lingkungan dan mencegah pencemaran.

3. Material Bangunan Alternatif

Bio-CaO memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai pengisi atau aktivator dalam proses pembuatan mortar, blok paving, dan berbagai jenis material bangunan berbasis semen alternatif. Penggunaan *Bio-CaO* sangat relevan, terutama dalam konteks proyek pembangunan desa yang

berfokus pada pendekatan padat karya. Dengan demikian, pemanfaatan Bio-CaO tidak hanya memberikan solusi inovatif di industri konstruksi, tetapi juga mendukung pengembangan ekonomi lokal melalui pemberdayaan masyarakat dalam proyek-proyek pembangunan ini.

4. Prekursor untuk material bioaktif

Kehadiran elemen minor, seperti *zinc oxide* (ZnO) dan *Strontium Oksida* (SrO), membuka berbagai peluang untuk pengembangan material canggih, termasuk *hidroksiapatit* (HA) dan material dengan sifat antimikroba. Ini sangat relevan dan penting dalam konteks penelitian biomedis dasar.

Selain aplikasi yang disebutkan di atas, kalsium oksida yang dihasilkan dari sintering cangkang telur juga menunjukkan potensi yang sangat baik untuk digunakan sebagai katalis basis padat dalam produksi biodiesel. Selain itu, ia dapat berfungsi sebagai penetral gas asam dalam sistem desulfurisasi, serta sebagai komponen penting dalam persiapan material komposit dan keramik. Selanjutnya, dengan melakukan proses hidratisasi, *kalsium oksida* (CaO) dapat diubah menjadi kalsium *hidroksida* (Ca(OH)₂), yang memiliki berbagai aplikasi, mulai dari formulasi mortar kapur, hingga digunakan sebagai flokulan dalam pengolahan air, hingga pelapis dengan sifat antibakteri. Potensi multifungsi kalsium oksida tidak hanya memperluas jangkauan aplikasinya di sektor pertanian tetapi juga meluas ke sektor energi terbarukan, sanitasi, dan material teknik. Semua ini sangat relevan dalam konteks pengembangan Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) lokal dan mendukung upaya industrialisasi hijau berskala kecil. Dengan demikian, kalsium oksida dari cangkang telur tidak hanya berkontribusi terhadap keberlanjutan lingkungan tetapi juga mendukung pertumbuhan ekonomi lokal melalui inovasi dan penggunaan sumber daya yang beragam.

Keberagaman aplikasi material dari bio-CaO, mulai dari pupuk pertanian dan adsorben logam berat hingga pengisi bangunan dan katalis biodiesel, serta material komposit, menunjukkan bahwa limbah organik, seperti cangkang telur, tidak hanya memiliki nilai teknis yang tinggi tetapi juga fleksibilitas aplikasi yang luas. Dalam konteks ekonomi sirkular, diversifikasi fungsi ini adalah kunci untuk memastikan bahwa produk limbah dapat diserap oleh berbagai sektor lokal, dari pertanian dan lingkungan hingga energi dan konstruksi. Semakin banyak jalur pemanfaatan yang tersedia, semakin tinggi peluang siklus nilai tertutup di tingkat komunitas.

Relevansi Ekonomi Sirkular Berdasarkan Data Lokal

Provinsi Lampung dikenal sebagai salah satu daerah terkemuka di sektor peternakan unggas di Indonesia, terutama dalam produksi telur. Berdasarkan data yang dikumpulkan dari 2017 hingga 2024, produksi telur unggas (ayam petelur/ras, bebek, ayam kampung/buras) di Lampung menunjukkan pertumbuhan yang signifikan, seperti yang terlihat dalam **Tabel 2**. Tren jangka panjang menunjukkan pertumbuhan positif yang konsisten.

Seiring dengan peningkatan produksi telur, jumlah cangkang telur yang dihasilkan sebagai limbah juga meningkat secara signifikan. Pada tahun 2017, potensi limbah cangkang telur di Lampung

diperkirakan mencapai 10,21 juta kilogram, dan diperkirakan mencapai 30,71 juta kilogram pada tahun 2024. Jika dibandingkan dengan total produksi telur, proporsi cangkang telur berada dalam kisaran 12 hingga 12,5 persen dari total berat telur, menunjukkan bahwa limbah ini tidak dapat diabaikan baik secara kuantitatif maupun strategis. Cangkang telur adalah limbah biomineral yang kaya akan *kalsium karbonat* (CaCO_3), yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam industri material. Dalam konteks lokal, abundansi cangkang telur membuka peluang untuk pengembangan produk berbasis sumber daya terbarukan yang sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular, seperti pembuatan adsorben lingkungan, biofilter, material katalitik, material komposit, dan bahan baku untuk pembuatan nano-CaO melalui proses termal atau kimia.

Tabel 2. Produksi Telur di Provinsi Lampung

Tahun	Produksi Telur (Kg)	Cangkang Telur (Kg)
2017	82.412.007	10.210.848
2018	127.115.805	15.749.648
2019	145.295.847	18.002.155
2020	253.181.618	31.369.202
2021	261.875.702	32.446.399
2022	272.984.576	33.822.789
2023	250.693.775	31.060.959
2024	247.934.988	30.719.145

Potensi cangkang telur yang semakin meningkat sebagai limbah bernilai tambah memerlukan pendekatan inovatif untuk pemanfaatannya, terutama di tingkat lokal. Lampung, sebagai daerah dengan ekosistem peternakan yang mapan, memiliki kesempatan untuk mengembangkan sistem pemanfaatan limbah unggas yang terintegrasi. Memperkuat kolaborasi antara sektor peternakan, UMKM, lembaga penelitian, dan pemerintah daerah sangat penting dalam membangun rantai nilai dari limbah menjadi produk inovatif. Pengembangan model pengolahan limbah cangkang telur di Lampung dapat diarahkan kepada usaha kecil dan menengah (UKM) berbasis komunitas, di mana proses konversi limbah menjadi produk material dilakukan secara terdesentralisasi tetapi terstandarisasi. Selain itu, cangkang telur dapat berperan sebagai pengganti sebagian bahan baku impor dalam industri bahan kimia dan bahan fungsional, sehingga mendukung agenda keamanan bahan baku dan kemandirian teknologi nasional.

Untuk mendukung perencanaan pengembangan masa depan bahan berbasis cangkang telur, proyeksi produksi telah dilakukan menggunakan pendekatan Compound Annual Growth Rate (CAGR). Berdasarkan data produksi dari 2019 hingga 2024, diperoleh CAGR sebesar 11,36%. Dengan asumsi pertumbuhan berlanjut, diperkirakan bahwa produksi cangkang telur di Lampung akan mencapai sekitar 34,2 juta kilogram pada tahun 2025, dan terus meningkat menjadi lebih dari 52,6 juta kilogram pada tahun 2029 (Tabel 3). Estimasi ini memberikan dasar kuantitatif yang penting untuk peningkatan skala teknologi, mulai dari desain unit pengolahan, estimasi biaya produksi, hingga

strategi logistik dan distribusi bahan baku. Dengan potensi biomassa limbah yang besar dan tersebar secara geografis di pusat produksi unggas, Lampung memiliki posisi strategis untuk menjadi pelopor dalam pengembangan teknologi pengolahan limbah berbasis daerah. Ini juga sejalan dengan agenda nasional dalam mendorong penelitian hilir, penciptaan nilai tambah di tingkat lokal, dan transformasi ekonomi menuju bioindustri yang berkelanjutan.

Tabel 3. Proyeksi Produksi Cangkang Telur di Provinsi Lampung

Tahun	Priyeksi Cangkang Telur (kg)
2025	34.208.840
2026	38.094.964
2027	42.422.552
2028	47.241.754
2029	52.608.417

KESIMPULAN

Studi ini menunjukkan bahwa cangkang telur dari daerah Lampung memiliki potensi tinggi sebagai bahan baku alternatif untuk *kalsium oksida* (CaO) melalui proses sintering sederhana. Hasil analisis XRF menunjukkan bahwa sampel yang dikalsinasi mengandung 98,865% CaO, dengan kotoran seperti MgO, Al₂O₃, dan ZnO dalam jumlah yang sangat rendah. Ini menunjukkan bahwa proses sintering pada suhu 900°C selama 1 jam telah berhasil mengonversi CaCO₃ menjadi CaO secara efisien.

Komposisi kimia yang diperoleh mendukung berbagai aplikasi material, mulai dari pupuk pertanian, adsorben logam berat, material konstruksi, hingga prekursor untuk material bioaktif dan katalis. Estimasi berbasis data BPS menunjukkan bahwa dengan produksi telur Lampung sekitar 214.256.574 kg per tahun, potensi bio-CaO dari limbah cangkang dapat mencapai 26.546.389 kg per tahun. Proyeksi untuk lima tahun ke depan bahkan menunjukkan peningkatan ketersediaan menjadi di atas 47.241.754 kg pada tahun 2028.

Lebih dari sekadar studi karakterisasi, penelitian ini juga menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah cangkang telur dapat berfungsi sebagai model nyata untuk menerapkan ekonomi sirkular. Limbah organik rumah tangga yang belum dimanfaatkan secara sistematis dapat diproses menjadi produk bernilai tinggi menggunakan teknologi rendah, yang dapat diterapkan secara lokal dan memiliki potensi untuk dikembangkan pada skala UMKM. Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya relevan dari perspektif teknis dan lingkungan, tetapi juga strategis dalam kerangka pengembangan ekonomi berbasis sumber daya lokal dan dekarbonisasi industri kecil.

UCAPAN TERIMKASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih atas fasilitas, dukungan ilmiah, dan teknis dari Laboratorium Karakterisasi Lanjutan Lampung, Pusat Penelitian Teknologi Pertambangan, Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material, Badan Riset dan Inovasi Nasional melalui E-Layanan Sains. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak Kusno Isnugroho dan Bapak Yusup Hendronursito atas bimbingannya dalam penelitian tugas akhir dan penulisan karya tulis ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akankali, J. A., & Nwafili, S. A. (2015). Management of organic waste impacts on the environment: Utilization as fish feed. *International Journal of Development and Sustainability*, *4*, 513–528.
- Ali, N. A., Khairuddin, N., Azmi, T. S. M., & Siddique, M. B. M. (2023). The preparation of CaO catalyst from eggshells and its application in biodiesel production from waste cooking oil. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *48*, 383–388.
- Arshad, M. F., Zailani, W. W. A., Ismail, N., Zainol, M. R. R. M. A., Abdullah, M. M. A. B., & Tahir, M. F. M. (2025). Eggshell powder (ESP) as low-cost adsorbent for wastewater treatment. *Journal of Physics: Conference Series*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1960/1/012021>
- Ayolaa, A., Babalola, R., & Elizabeth, M. O. (2018). Data on CaO and eggshell catalysts used for biodiesel production. *Data in Brief*. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.06.028>
- Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung. (2025). *Jumlah produksi telur unggas dan susu sapi segar menurut kabupaten/kota di Provinsi Lampung*.
- Bremaghani, A. (2024). Utilization of organic waste in compost fertilizer production: Implication for sustainable agriculture and nutrient management. *LE Journal*, *18*(2), 86–98. <https://journals.ristek.or.id/index.php/LE/article/view/87>
- Chan, E. (2012). *Harvard business school confidential: Secrets of success*. Wiley.
- Desmiarti, R., Sari, E., Firdaus, Desfitri, E. R., Amir, A., Salsabil, I., Rosadi, M. Y., & Naldi, N. (2022). The effect of calcination temperature on the quality of quicklime from different limestone mines in West Sumatera, Indonesia. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, *6*(1), 41–48.
- Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan Kementerian Pertanian RI. (2021). *Statistik peternakan dan kesehatan hewan*.
- Djayasinga, R., Hadi, S., Simanjuntak, W., & Situmeang, R. (2024). Synthesis of calcium oxide utilizing chicken eggshell waste via a foam free approach. *Proceedings of Seminar Nasional Humaniora dan Aplikasi Teknologi Informasi (SEHATI)*, *10*(1).
- Habiyah, U., Mutia, R., & Suharti, S. (2016). Performance and egg quality of laying hens fed ration containing coriander seeds (*Coriandrum sativum* Linn). Department of Nutrition and Feed Technology, Faculty of Animal Science, Bogor Agricultural University.
- Hartono, W. (2021). Evaluasi laporan keuangan dengan menggunakan CAGR, analisis rasio, dan sistem du pont (studi empiris: PT. Adira Dinamika Multi Finance (ADMF) Tbk. Tahun 2010-2019). *Jurnal Sekuritas (Saham, Ekonomi, Keuangan dan Investasi)*, *4*(2), 36–48.
- Helwani, Z., Ramli, M., & Saputra, E. (2020). Impregnation of CaO from eggshell waste with magnetite as a solid catalyst (Fe₃O₄/CaO) for transesterification of palm oil off-grade. *Catalysts*, *164*
- Hemmami, H., Alhamad, A. A., Zeghoud, S., Amor, I. B., Tliba, A., Alsalmé, A., Cornu, D., Bechelany, M., & Barhoum, A. (2024). Green synthesis of CaO nanoparticles from chicken eggshells: Antibacterial, antifungal, and heavy metal (Pb²⁺, Cr²⁺, Cd²⁺, and Hg²⁺) adsorption properties. *Frontiers in Environmental Science*. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1450485>
- Hsieh, S.-L., Wang, G.-J., Li, F.-Y., Lin, P.-Y., Beck, D. E., Kirankumar, R., & Hsieh, S. (2021). CaO recovered from eggshell waste as a potential adsorbent for greenhouse gas CO₂. *Journal of Environmental Management*, *113430*
- Hunton, P., & Galt, S. (2005). Research on eggshell structure and quality: An historical overview. *Brazilian Journal of Poultry Science / Revista Brasileira de Ciência Avícola*.

- Ibeabuchi, V. T., Eneh, B. C., Akosubo, I. S., & Sopakirite, S. (2023). Valorization and utilization of nano-CaO from eggshell waste in concrete composites for sustainable structures. *Journal on Engineering Sciences*, *4*, 283–289.
- Kalaycı, T., Altuğ, D. T., Kınaytürk, N. K., & Tunali, B. (2025). Characterization and potential usage of selected eggshell species. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87786-y>
- Kirchherr, J., & Hekkert, M. P. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *SSRN Electronic Journal*. <https://www.researchgate.net/publication/320074659>
- Kristianto, A., & Nadapdap, J. P. (2021). Dinamika sistem ekonomi sirkular berbasis masyarakat metode causal loop diagram Kota Bengkulu. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/352143228>
- Lai, L., Imai, T., Umezu, M., Ishii, M., & Ogura, H. (2020). Possibility of calcium oxide from natural limestone including impurities for chemical heat pump. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en13040803>
- Nath, D., Jangid, K., Susaniya, A., Kumar, R., & Vaish, R. (2021). Eggshell derived CaO-Portland cement antibacterial composites. *Composites Part C: Open Access*, *100123*.
- Pebrianti, S. P., & Ilyas, M. F. (2024). Pemanfaatan hasil samping cangkang telur untuk fortifikasi kalsium pada berbagai produk pangan: Tinjauan literatur. *Journal of Food and Agricultural Product*, *4*(1). <http://journal.univetbantara.ac.id/index.php/jfap>
- Pleissner, D., Stephan, L., & Smetana, S. (2024). Urgent need to define end-of-waste criteria for efficient utilization of organic waste. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, *1*.
- Purwaningsih, W. D., et al. (2021). *Pemanfaatan cangkang telur ayam sebagai biosorben untuk penurunan COD pada limbah cair pabrik batik* [Unpublished manuscript]. Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama.
- Putra, R. S., Sawaludin, Liyanita, A., Arifah, N., Puspitasari, E., & Hizam, M. N. (2017). Enhanced electro-catalytic process on the synthesis of FAME using CaO from eggshell. *Proceedings of the 8th International Conference on Applied Energy*, 289–296.
- Qasem, A., Ali, H. A., & Hussain, D. (2023). Spectroscopic analysis of domestic and imported eggshells powder. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/368751626>
- Quereda Vázquez, M. F., Vicente, M. J., Soriano, M., Pérez, M. R., González, N., Peris, A., & Baldonado, A. (2024). *Bio-calcium carbonate from eggshells: A new raw material for the ceramic industry*.
- Sari, M., Hening, P., Chotimah, Ana, I. D., & Yusuf, Y. (2021). Porous structure of bioceramics carbonate hydroxyapatite-based honeycomb scaffold for bone tissue engineering. *Materials Today Communications*, *102135*.
- Stadelman, W. J., & Cotterill, O. J. (2013). *Egg science and technology* (4th ed.). Routledge.
- Tangboriboon, N. (2012). Preparation and properties of calcium oxide from eggshell via calcination. *Sciend*, *3*, 313-322. <https://doi.org/10.2478/s13536-012-0055-7>
- Tangboriboon, N., Unjan, W., Sangwan, W., & Sirivat, A. (2018). Preparation of anhydrite from eggshell via pyrolysis. *Green Processing and Synthesis*, *7*, 139–146.
- Wakila, H. M., & Bakri, S. (2023). Quality analysis of limestone for the raw material of cement making industry in Tangofa Village, Bungku Pesisir Sub-district, Morowali Regency. *Journal of Geology and Exploration*. <https://doi.org/10.58227/jge.v2i2.121>
- Waheed, M., Butt, M. S., Shehzad, A., Adzahan, N. M., Shabbir, M. A., Suleria, H. A. R., & Aadil, R. M. (2019). Eggshell calcium: A cheap alternative to expensive supplements. *Trends in Food Science & Technology*, *91*, 219–230.
- Wijiniandiah, A., Selvia, J., Selvia, J., Chotimah, H., & Gaol, S. E. L. (2023). Potensi dan karakteristik bubuk cangkang telur yang dibuat dengan perendaman asam alami. *Jurnal Peternakan Indonesia (Indonesian Journal of Animal Science)*, *25*(1), 57–69. <https://doi.org/10.25077/jpi.25.1.57-69.2023>