

KALSIUM OKSIDA CANGKANG KERANG SEBAGAI MATERIAL REAKSI EKSO TERMIS KEMASAN PEMANAS SENDIRI UNTUK PANGAN DARURAT LOKAL

CALCIUM OXIDE IN COCKLE SHELLS AS EXOTHERMIC REACTION MATERIAL IN SELF-HEATING PACKAGING FOR LOCAL EMERGENCY FOOD

Bambang Riyanto*, Wini Trilaksani, Nur'afni Rahmaeni

Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Jalan Agatis, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

*Korespondensi: bambangriyanto@apps.ipb.ac.id

ABSTRACT

The concept of emergency food in Indonesia has not fully addressed nutritional adequacy and suitable food models, including the potential of local food. The development of self-heating packaging with an exothermic reaction in response to modern demands for convenience and hygiene has not been implemented yet. However, there is potential in using calcium oxide from shells as a promising source of exothermic heating material. This research aims to investigate the use of calcium oxide obtained from waste cockle shells as a reactant in self-heating packaging with an exothermic reaction for local emergency food, specifically bubbor paddas. The research involved several stages, including producing and determining the characteristics of bubbor paddas as a local emergency food based on daily intake, calcination calcium oxide from cockle shells, and designing and determining the characteristics of self-heating packaging with an exothermic reaction for local emergency food. Bubbor paddas, as a local emergency food model, has a serving size of 380 g and provides a daily intake of 510 kilocalories of energy. The calcium oxide obtained from cockle shells, through calcination at 900°C for 4 hours, exhibits crystallization with an energy change (enthalpy) of -312.20 J/g and -21.30 J/g, indicating heat release of an exothermic nature. Using a 1:2 ratio with water and with a pH value of 11.68 ± 0.49 , this self-heating packaging with an exothermic reaction was capable of producing 6.72 kilojoules of heat or heating bubbor paddas to a temperature of 28°C within a duration of 40 minutes to achieve temperature stability.

Keywords: advanced packaging, calcination, covid 19 pandemic, indigenous food

ABSTRAK

Konsep pangan darurat di Indonesia belum sepenuhnya memperhatikan aspek pemenuhan kecukupan gizi dan model pangan yang sesuai, termasuk potensi pangan lokal. Pengembangan kemasan pemanasan sendiri dengan reaksi eksotermik sebagai respons terhadap tuntutan modern akan kepraktisan dan higienitas masih belum dilakukan. Di sisi lain, terdapat potensi kalsium oksida cangkang kerang sebagai sumber material pemanas eksotermik yang menjanjikan. Penelitian bertujuan menentukan reaktan kalsium oksida yang diperoleh dari limbah cangkang kerang darah untuk digunakan sebagai kemasan pemanasan sendiri dengan reaksi eksotermik pada pangan darurat lokal bubbor paddas. Tahapan penelitian meliputi pembuatan dan penentuan karakteristik bubbor paddas sebagai pangan darurat lokal sesuai asupan harian, kalsinasi kalsium oksida dari cangkang kerang darah, serta perancangan dan penentuan karakteristik kemasan pemanasan sendiri dengan reaksi eksotermik untuk pangan darurat lokal. Bubbor paddas sebagai model pangan darurat lokal yang dihasilkan, memiliki takaran saji 380 g dengan asupan harian 510 kilokalori energi. Kalsium oksida yang diperoleh dari kalsinasi cangkang kerang darah pada suhu 900°C selama 4 jam memiliki kristalisasi yang menghasilkan perubahan energi (entalpi) sebesar -312,20 J/g dan -21,30 J/g, dengan pelepasan panas yang bersifat eksotermik. Melalui perbandingan 1:2 dengan air dan nilai pH $11,68 \pm 0,49$, kemasan pemanasan sendiri dengan reaksi eksotermik ini mampu menghasilkan panas 6,72 kilojoule atau dapat memanaskan bubbor paddas hingga suhu 28°C setelah menjalani waktu 40 menit untuk mencapai kestabilan suhu.

Kata kunci: kalsinasi, kemasan maju, pandemi covid 19, pangan lokal

PENDAHULUAN

Kebijakan cadangan pangan darurat telah menjadi bagian dari narasi kesiapsiagaan bencana sebagai dampak perubahan iklim, bencana alam, termasuk kejadian luar biasa seperti pandemi covid 19. Bencana menyebabkan ketersediaan pangan berkurang. Status gizi individu menjadi indikator ketahanan. Pandemi covid 19 menyadari peran penting kesehatan fisik, namun juga kesehatan mental tiap individu (Naja dan Hamadeh 2020). Undang-Undang Nomor 24 tahun 2007 mengenai penanggulangan bencana menyebutkan bahwa pangan merupakan kebutuhan dasar manusia saat bencana. Paket logistik pangan terdiri dari beras 0,4 kg (bahan lain disesuaikan), lauk-pauk, mie instan 3 bungkus, kecap 150 mL, dan air minum 4 L. Paket pangan diperuntukkan untuk 1 jiwa/hari dan dapat disiapkan makanan siap saji (BNPB 2012). Paket pangan yang ada memerlukan sarana pemasakan dan penggunaan air bersih, serta tanpa memperhatikan asupan gizi. Relevansi konsep pangan darurat perlu dikembangkan, termasuk ketentuan asupan harian yang mampu memenuhi kebutuhan gizi individu (Galanakis 2020).

Pangan darurat harus memenuhi beberapa ketentuan, yaitu aman, bermutu, sehat, enak, dan bebas dari bahan tambahan pangan berbahaya. Konsep makanan siap santap (*meal ready to eat* - MRE) seperti *food bar*, telah terbukti sangat baik. Umumnya, produk pangan darurat memiliki kadar air yang rendah dengan distribusi energi dari karbohidrat sekitar 40-50%, lemak 35-45%, dan protein 10-15% (Zoumas *et al.* 2002). Namun, penyajian pangan darurat dalam bentuk *soup* atau bubur instan, sebagai alternatif pengganti mie instan, masih menjadi permasalahan. Persepsi masyarakat terhadap *soup* atau bubur instan sebagai pangan darurat adalah bahwa makanan tersebut dapat langsung dikonsumsi. Beberapa kasus memerlukan pengolahan, sehingga memunculkan proses yang kompleks, yang membuat istilah siap santap menjadi ambigu.

Bubur dalam dunia kuliner, merupakan makanan yang dimasak sampai lunak. Istilah bubur biasanya merujuk pada bubur nasi. Berbagai jenis bubur telah dikembangkan dan menjadi ciri khas daerah di Indonesia, seperti bubur kanji rumbi dari Aceh, bubur Manado dari Manado, atau

bubor paddas dari Melayu yang populer di Sumatera Utara dan Kalimantan Barat. Nama "bubor paddas" digunakan karena mengandung rempah dan kekhasannya terletak pada parutan kelapa yang disangrai (Maswita 2021). Mengingat Sumatera merupakan daerah yang rawan bencana, karakteristik bubor paddas sangat cocok untuk dikembangkan di daerah.

Kemasan pemanasan sendiri (*self-heating packaging*) menyediakan fasilitas pemanasan (*spot heating facility*) sebelum mengkonsumsi produk makanan. Fasilitas pemanasan tertanam dalam kemasan, yang menyediakan panas yang cukup untuk menghangatkan makanan. Tingkat atau sifat panas tergantung pada jenis bahan makanan. Sebagian besar berhasil menghangatkan hingga 70-75°C, beberapa diantaranya dapat mencapai suhu memasak, yaitu lebih dari 80-85°C. Sumber panas biasanya melalui hambatan dan induktansi atau kapasitansi listrik, termasuk baterai (Mao *et al.* 2020).

Teknologi kemasan pemanasan sendiri yang juga dikembangkan adalah melalui mekanisme reaksi eksotermis (*exotherm reaction-self heating packaging*), yaitu reaksi kimia yang ditandai perpindahan panas ke lingkungan sistem. Aplikasi pemanasan makanan biasanya dibuat oleh kombinasi dua atau lebih agen kimia reaktif, misalnya zeolit (Amery *et al.* 2022). Reaksi yang dihasilkan menciptakan sumber panas bersuhu tinggi. Cangkang merupakan hasil samping industri kekerangan dan merupakan limbah industri perikanan terbesar, yaitu berkisar 65-90% dari bobot biomassa setiap individu kerang. Cangkang kerang umumnya mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) yang tinggi, yaitu mencapai 95-99% (Kocot *et al.* 2016). Kalsium karbonat (CaCO_3) dapat dikonversi menjadi kalsium oksida (CaO) melalui kalsinasi pada suhu di atas 800°C (Suwannasingha *et al.* 2022). Kalsium oksida bereaksi dengan air dan akan menghasilkan panas melalui reaksi eksotermik. Kalsium oksida bersifat reaktif dengan air membentuk kalsium hidroksida (Ca(OH)_2). Reaksi ini melepaskan energi panas cukup besar, yaitu 65,2 kJ per mol reaktan. Secara teoritis reaksi eksotermik dapat menyebabkan kenaikan suhu mencapai 700°C (Salaudeen *et al.* 2018).

Inovasi material kalsium oksida cangkang kerang melalui model kemasan pemanas sendiri untuk pangan darurat

lokal di Indonesia sangat menarik dikembangkan. Kemasan pemanas sendiri dengan basis material kalsium oksida tidak banyak dilakukan, karena fluktuasi panas yang tinggi. Produsen utama kemasan pemanas sendiri dengan reaksi eksotermik antara lain *Tempra Technology Inc.* yang mengembangkan material pemanas berupa garam kalium dan gliserol, *HeatGen LLC* menggunakan material serbuk besi dan oksidator natrium klorat, serta *Luxfer Magtech* dengan komposisi magnesium, besi, dan natrium. Penggunaan terbesar kemasan pemanas sendiri dengan reaksi eksotermik adalah untuk minuman kopi atau coklat, sedangkan untuk makanan adalah *soup cream*. Penelitian bertujuan menentukan reaktan kalsium oksida dari limbah cangkang kerang darah pada kemasan pemanasan sendiri dengan reaksi eksoterm (*exotherm reaction-self heating packaging*) untuk pangan darurat lokal bubbor paddas.

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan

Peralatan meliputi *SSU Laboratory Hot Air Oven 30 L*, *SNOL 6.7/1300 LSM01 Muffle Furnace*, *hammer mill Andaro HM 250*, *digital pen type thermometer* dengan *measurement range* (°C) -50 sampai 300 dan *precision* ±1°C, *Differential Scanning Calorimetry Mettler-Toledo Flash DSC*, *Shimadzu 4300 Fourier-transform infrared spectroscopy* (FTIR), pH meter.

Bahan meliputi cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) 25 kg dari berbagai rumah makan di Bogor, kapur tohor polylab, Indonesia, dan zeolit pudak scientific, Indonesia yang dibeli dari *ROFA Laboratorium Centre* di Jakarta. Bahan untuk kemasan meliputi *retort pouch PET 26x25,5x4,4*, plastik *zip lock LDPE 35x45 cm*, kertas model minuman celup *12x8,5 cm*, dan plastik *PP 13x10 cm*. Bahan bubur meliputi beras varietas Cianjur dan bumbu, yang terdiri dari lada putih merk "Ladaku" (Kab Bogor), lada hitam merk "Yoa" (Kab. Bogor), bawang merah bawang putih, ketumbar merk "Desaku" (Kab. Bogor), garam merk "Refina", lengkuas, dan minyak goreng merk "Tropikal". Bahan lain untuk bubur meliputi ikan nila, kacang tanah dan jagung.

Prosedur penelitian

Pembuatan bubbor paddas dan angka kecukupan gizi untuk pangan darurat lokal

Bubbor paddas dibuat dengan modifikasi Rusiardy *et al.* (2014) pada aspek bahan penyusun dan tahapan pembuatan. Beras dan kelapa yang telah disangrai disiapkan dengan perbandingan 3:1. Bumbu rempah meliputi lada putih 3,3% b/b, lada hitam 2,3% b/b, bawang merah 19,3% b/b, bawang putih 9,7% b/b, ketumbar 2,3% b/b, garam 5% b/b, lengkuas 6,7% b/b, dan minyak goreng 14,3% b/b. Bumbu-bumbu digiling hingga homogen, lalu digoreng selama 5 menit hingga berwarna kecoklatan.

Beras dan kelapa dilakukan perebusan dengan perbandingan beras dan air 1:14 b/v, setelah 10 menit jagung 30% b/b dan kacang tanah goreng 16 % b/b ditambahkan dan perebusan dilanjutkan selama 20 menit. Bumbu dan ikan nila goreng 12% b/b ditambahkan dan perebusan dilanjutkan hingga 30 menit. Penentuan karakteristik bubbor paddas meliputi ketampakan visual menggunakan kamera *Xiaomi Redmi 4X*, sensori hedonik (Setyaningsih *et al.* 2010), dan komposisi kimia kadar air, protein, lemak, abu, dan karbohidrat *by difference* (AOAC 2005).

Perhitungan Angka Kecukupan Gizi (AKG) mengacu Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2019 tentang Angka Kecukupan Gizi yang Dianjurkan untuk Masyarakat Indonesia. Kelompok anak-anak usia 0-9 tahun membutuhkan energi 550-1.650 kkal, remaja 1.900-2.650 kkal, dewasa berkisar 2.250-2.650 kkal, lansia 1.400-1.800 kkal, ibu hamil 2.280-2.550 kkal/hari, dan ibu menyusui 2.430-2.650 kkal/hari (Permen 2019).

Pembuatan dan karakterisasi kalsium oksida dari cangkang kerang darah

Preparasi cangkang kerang darah diawali dengan pencucian selanjutnya pengeringan matahari selama 3 jam. Cangkang diperkecil ukurannya dan digiling menjadi bubuk halus menggunakan *hammer mill*, kemudian disaring dengan ukuran 60 mesh. Ketampakan visual cangkang disajikan menggunakan kamera *Xiaomi Redmi 4X*. Komposisi kimia meliputi kadar air, protein, lemak, dan abu (AOAC 2005).

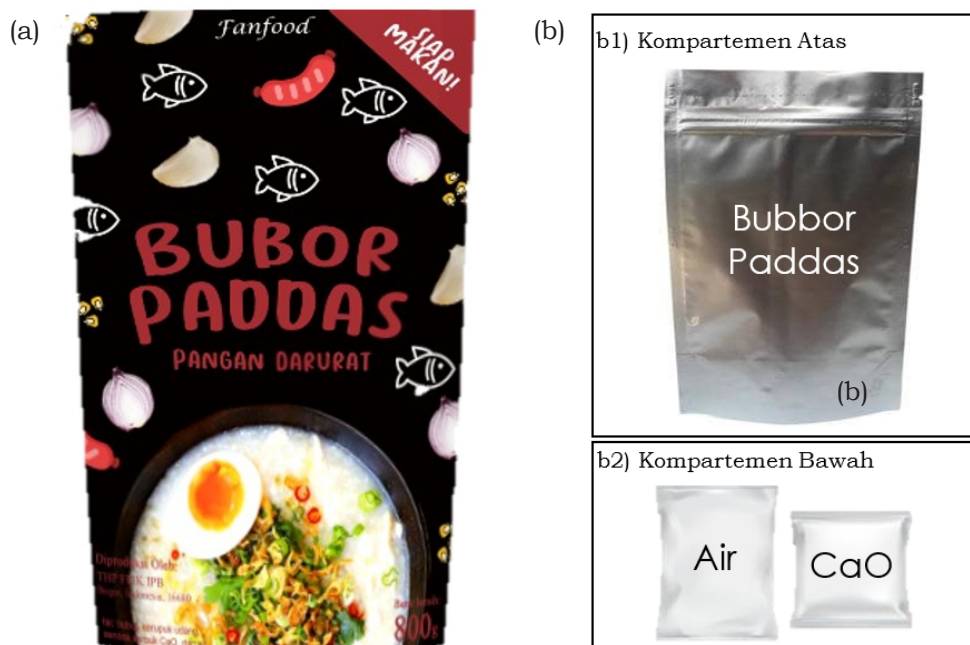
Cangkang kerang darah dikalsinasi menggunakan tanur atau *furnace* suhu 900°C selama 4 jam. Kalsium oksida yang dihasilkan dilakukan karakterisasi bobot, struktur makro menggunakan kamera *smartphone* Xiaomi Redmi 4X dan struktur mikro menggunakan mikroskop cahaya Olympus Seri CX21 perbesaran 40x. Kalsium oksida cangkang kerang dilakukan analisis yang meliputi gugus fungsi FTIR spektrofotometer (Philipp dan Fujimoto 1992) dan pengukuran kalor *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) (Parniakov *et al.* 2018). Penyimpanan kristal CaO dilakukan dalam bejana tertutup untuk menghindari reaksi dengan karbondioksida (CO₂) dan meningkatnya kelembaban udara. Kondisi yang sama juga dilakukan pada *control* zeolit, sedangkan kapur tohor langsung disimpan.

Rancangan dan karakterisasi kemasan exotherm reaction-self heating dengan kalsium oksida dari cangkang kerang darah untuk pangan darurat lokal bubbor paddas

Rancangan kemasan *exotherm reaction-self heating* mengacu Amery *et al.* (2022). Kemasan terbuat dari bahan Plastik Polypropylene (PP) yang tahan panas. Kemasan terdiri dari beberapa kompartemen.

Wadah bawah berupa plastik *zip lock* yang berisi kalsium oksida cangkang kerang darah dan kantung air. Wadah atas adalah *standing pouch* berbahan PET sebagai wadah bubuk yang matang. Bahan lainnya berupa kerupuk udang dalam kemasan aluminium foil. Model juga menyediakan pelengkap alat makan (sendok). Model kemasan *exotherm reaction self-heating* diperlihatkan pada Gambar 1.

Penentuan karakteristik kemasan untuk pangan darurat lokal bubbor paddas dilakukan secara bersamaan dengan kondisi reaksi eksoterm kalsium oksida cangkang kerang darah. Pengamatan berupa pengukuran suhu, nilai pH, dan kalor yang dilepaskan (Ho *et al.* 2010). Pengulangan sebanyak 3 kali. Sebagai kontrol digunakan kapur tohor atau kalsium oksida (CaO) teknis dan zeolit. Kalsium oksida teknis digunakan sebagai indikasi awal efektivitas pemanasan dengan sejumlah air yang ditambahkan (perbandingan 1:1, 1:2, dan 1:3), sehingga ditemukan perbandingan untuk menghasilkan suhu tertinggi. Perhitungan energi yang dilepas dari reaksi dihitung menggunakan persamaan $Q=mC\Delta T$, m adalah massa gabungan air dan sampel, C adalah kalor jenis zat, dan ΔT adalah rata-rata perubahan suhu reaksi tertinggi.



Gambar 1. Rancangan kemasan *exotherm reaction-self heating* dengan kalsium oksida dari cangkang kerang darah untuk pangan darurat lokal bubbor paddas. (a) Tampak kemasan bagian luar, (b) Kemasan isi, b1) Kompartemen atas berisi kemasan makanan, b2) Kompartemen bawah berisi kemasan untuk air dan pemanas eksotermik kalsium oksida

Analisis data

Data merupakan deskripsi yang disajikan dalam bentuk tabel dan gambar mengenai efektivitas pemanasan kalsium oksida cangkang kerang, dengan kontrol berupa kapur tohor atau kalsium oksida teknis dan zeolit. Data diolah menggunakan Origin 2018 (originlab.com/2018) dan *software* Microsoft Excel 2019.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik bubor paddas dan asupan harian untuk pangan darurat lokal

Bubor paddas memiliki aroma dan rasa pedas yang berasal dari lada, berwarna coklat karena penggunaan parutan kelapa yang disangrai dan tekstur yang agak padat. Bubur memiliki ketampakan dan warna dengan nilai 6 atau kategori agak suka. Nilai aroma, rasa, dan tekstur adalah 7 atau panelis suka. Nilai pada ketampakan dan warna bubur diduga sejumlah panelis masih asing, karena persepsi bubur adalah berwarna putih (Gambar 2).

Bubor paddas dalam kemasan *exotherm reaction-self heating* yang dihasilkan, memiliki takaran saji 380 gram dan telah memenuhi asupan harian sebesar 510 kkal. Komposisi proksimat (basis kering) pada bubor paddas adalah karbohidrat 59,09%, protein 13,91%, lemak 20,25%, dan abu 6,8%, telah pula memenuhi angka kecukupan gizi protein, lemak, dan karbohidrat, yaitu masing-masing 11%, 41%, dan 46%, yang sesuai dengan kebutuhan gizi pangan darurat untuk orang dewasa sebesar 2.150 kkal per hari. Nilai kalori produk ini juga sebanding dengan nasi uduk sebagai pangan darurat

yang diusulkan Giyatmi dan Anggraini (2017), yaitu kalori 667,35 kkal, serta protein 13,02%, lemak 37,37%, dan karbohidrat 49,72%. Zaoumas *et al.* (2002) juga menyampaikan bahwa pangan darurat dalam bentuk *food bar* memiliki persentase protein 13%, lemak 38%, dan karbohidrat 50%.

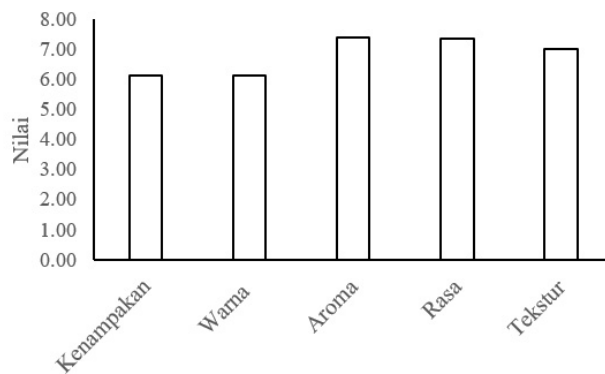
Zaoumas *et al.* (2002) menekankan bahwa kebutuhan energi harian untuk pangan darurat seringkali lebih tinggi akibat stres, perjalanan, dan kondisi lingkungan yang sulit. Angka kecukupan gizi untuk kebutuhan energi berkisar antara 2.000-3.000 kilokalori/hari, tergantung pada faktor usia, jenis kelamin, tingkat aktivitas, dan kondisi kesehatan individu. Kebutuhan zat gizi sangat penting untuk pemeliharaan, sumber energi, dan pemulihan tubuh. Berdasarkan distribusi energi tersebut, bubor paddas dengan komposisi bahan yang dibuat pada kemasan *exotherm reaction-self heating* dapat menjadi alternatif pangan darurat lokal di Indonesia.

Karakteristik kalsium oksida dari cangkang kerang darah

Cangkang kerang darah berbentuk oval dengan tekstur yang keras dan kuat. Warna kecoklatan pada bagian luar dan putih pada bagian dalam (Gambar 3a). Cangkang kerang yang telah diperkecil ukurannya (ditumbuk) (Gambar 3b) memperlihatkan bagian luar cangkang masih terdapat kotoran. Tepung cangkang kerang darah berukuran 60 mesh memiliki warna putih keabu-abuan (Gambar 3c). Kalsinasi pada suhu 900°C selama 4 jam (Gambar 3d) menghasilkan serbuk kalsium oksida berwarna abu, aroma kapur, dan tekstur sedikit kasar.



(a)



(b)

Gambar 2. Bubor paddas. (a) Ketampakan visual dan (b) Nilai sensori hedonik

Warna putih merupakan indikasi terbentuknya CaO dan perubahan warna terjadi karena CO₂ lepas ke lingkungan. Warna abu dengan tekstur sedikit kasar diduga CaCO₃ belum sepenuhnya berubah menjadi CaO (Suwannasingha *et al.* 2022). Struktur mikro memperlihatkan serbuk cangkang kerang sebelum kalsinasi terdapat butiran yang menyatu dengan ukuran cukup besar (Gambar 3e) dan setelah kalsinasi terlihat struktur menjadi partikel kecil dan tersebar secara merata (Gambar 3f). Suwannasingha *et al.* (2022) menyampaikan bahwa CaO cangkang kerang darah memiliki bentuk butiran hampir bulat dengan beberapa pertumbuhan *grain-neck* akibat kalsinasi.

Komposisi kimia cangkang kerang darah menunjukkan kandungan abu yang tinggi (95,95±0,085%), protein dan lemak masing-masing 0,16±0,028% dan 1,13%. Tingginya kadar abu menunjukkan cangkang kerang darah memiliki akumulasi mineral yang tinggi, meliputi Ca, Na, Fe, P, dan Mn (Bharatham *et al.* 2014) selain kalsium karbonat. Cangkang moluska terdiri dari 95% kalsium karbonat dan 5% matriks organik (Widyastuti dan Evawati 2019).

Kalsinasi memengaruhi perubahan massa berupa pengurangan, dengan persentase CaO dan zeolit masing-masing 59,2% dan 85,4%. Penurunan tersebut diduga karena pelepasan air, gugus alkil, gas CO₂, dan penguraian senyawa organik. Pemanasan meningkatkan energi dan memungkinkan atom-atom bergetar sehingga jarak antar atom lebih besar. Pergerakan atom-atom yang berikatan dengan kalsium karbonat sangat aktif dan bebas, sehingga menyebabkan terputusnya ikatan-ikatan kimia yang ada (Handayani *et al.* 2020).

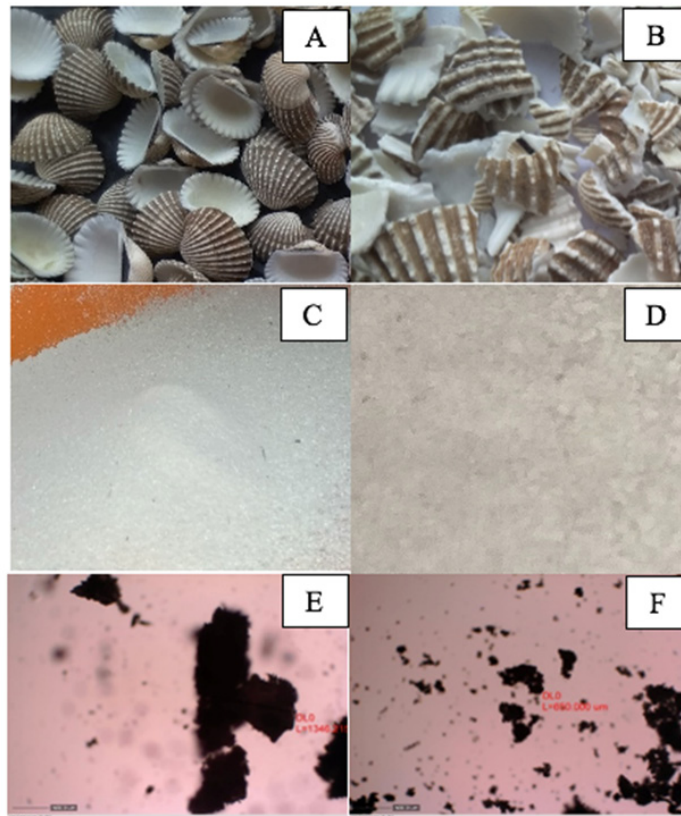
Serapan berdasarkan bilangan gelombang mempresentasikan gugus fungsi yaitu ikatan oksigen-hidrogen (O-H) pada wilayah serapan 3.750-3.000 cm⁻¹, ikatan rangkap satu karbon-oksigen (C-O) pada wilayah serapan 1.000-1.300 cm⁻¹. Pola CaO diperlihatkan dengan pita serapan pada panjang gelombang 857 cm⁻¹, yang menunjukkan karbonat. Ikatan rangkap 1 karbon dan oksigen (C-O) ditemukan pada panjang gelombang 1.646 cm⁻¹, sedangkan ikatan rangkap 2 karbon dan oksigen (C=O) pada panjang gelombang 1.471 cm⁻¹. Ikatan oksigen hidrogen (O-H) ditemukan

pada wilayah serapan 3.644 cm⁻¹. Wilayah serapan 2.000-3.000 cm⁻¹ menghilang akibat dekomposisi selama kalsinasi (Gambar 4).

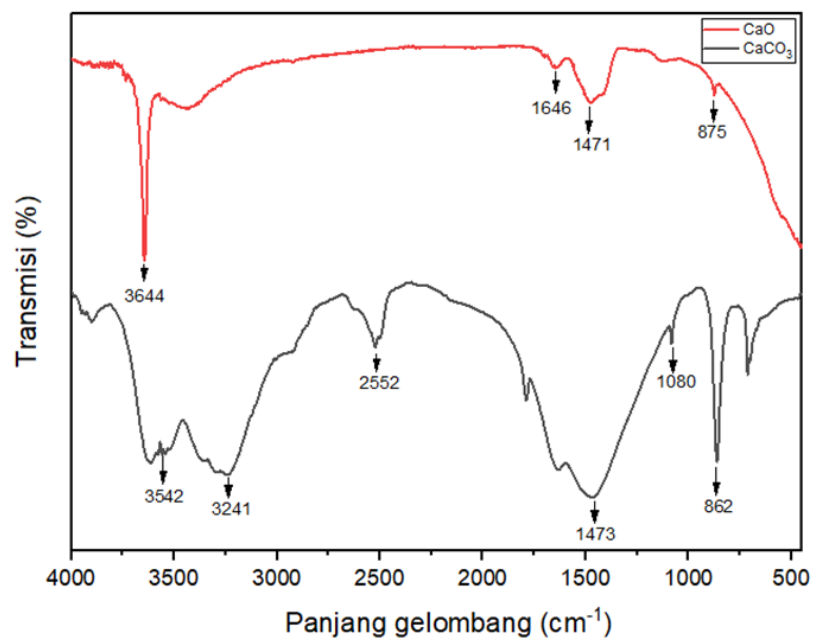
Differential Scanning Calorimetry (DSC) bertujuan untuk menunjukkan konfirmasi kemampuan kalsium oksida dari cangkang kerang darah dalam menghasilkan panas yang bersifat eksotermik. Reaksi eksotermik ini terjadi melalui proses kristalisasi atau pelelehan kristal (*crystalline melting*) (Maleque 2013). Terdapat dua puncak yang menghasilkan panas eksotermik dari kalsium oksida (CaO) yang berasal dari cangkang kerang darah. Puncak pertama, terjadi pada suhu awal 138°C, suhu akhir 152°C, dan suhu maksimum 145°C. Selama proses ini, terjadi perubahan entalpi sebesar -312,20 J/g. Angka negatif menunjukkan bahwa proses melepaskan energi (eksotermik). Puncak kedua, terjadi pada suhu awal 196°C, suhu akhir 205°C, dan suhu maksimum 234°C. Nilai entalpi untuk puncak kedua adalah -21,30 J/g (Gambar 5). Konfirmasi ini menunjukkan bahwa kalsium oksida cangkang kerang darah berpotensi dan efektivitas sebagai material pemanas eksotermik untuk pengembangan kemasan pemanas sendiri. Keberadaan data berupa suhu awal, suhu akhir, dan suhu maksimum dari puncak eksotermik dapat menunjukkan juga bahwa kondisi optimum dalam merancang kemasan pemanas sendiri adalah melalui kepastian suhu yang tepat. Hal ini penting dalam memastikan keamanan pemanasan pada kemasan pemanas sendiri nantinya.

Karakteristik kemasan *exotherm reaction self-heating* dengan material kalsium oksida dari cangkang kerang darah

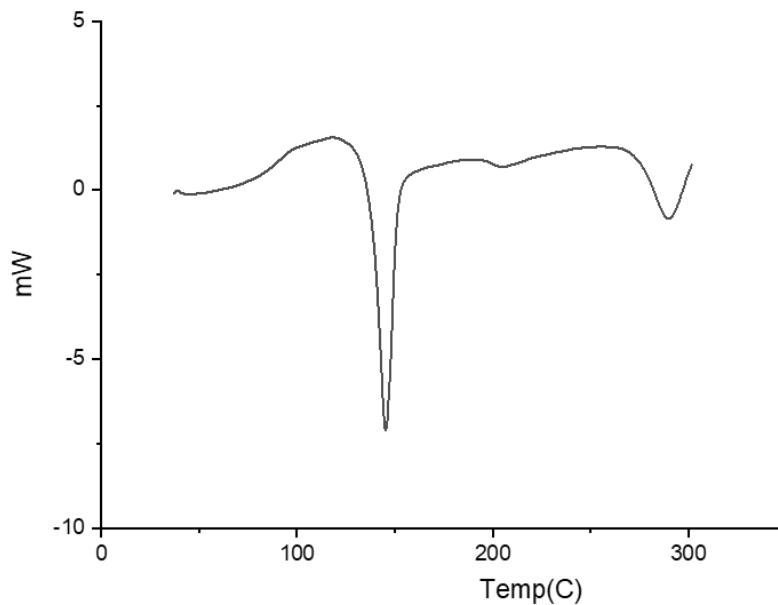
Reaksi antara kapur tohor (CaO teknis) dan air terlihat sebagai reaksi eksotermik, yaitu terdapat panas yang dilepaskan ke lingkungan sekitar. Secara pembentukannya, reaksi ini merupakan reaksi hidrasi yang menghasilkan kalsium hidroksida (Ca(OH)₂). Panas yang dihasilkan menunjukkan bahwa reaksi ini melepaskan energi yang lebih besar daripada energi yang diperlukan untuk memulai reaksi. Selama reaksi, ikatan kimia antara atom dalam CaO dan H₂O terputus dan ikatan baru terbentuk untuk membentuk Ca(OH)₂, yang menghasilkan pelepasan energi dalam bentuk panas (Murthy *et al.* 1994).



Gambar 3. Cangkang kerang darah dan kalsium oksida dari cangkang kerang darah. (a) Cangkang kerang darah utuh, (b) Cangkang kerang darah diperkecil/ditumbuk, (c) Cangkang kerang darah dalam bentuk bubuk, (d) Cangkang kerang darah dalam bentuk kalsium oksida, (e) Cangkang kerang darah perbesaran 40x, (f) Kalsium oksida cangkang kerang darah perbesaran 40x



Gambar 4. Gugus fungsi FTIR spektrofotometri kalsium karbonat (CaCO_3) dan kalsium oksida (CaO) dari cangkang kerang darah setelah kalsinasi 900°C selama 4 jam



Gambar 5. *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) kalsium oksida dari cangkang kerang darah dengan puncak penghasil panas eksotermik

Peningkatan suhu yang terjadi dari berbagai perbandingan dengan air cenderung tidak berbeda, namun perbandingan CaO teknis dan air 1:2 menghasilkan suhu tertinggi yang mencapai 86,33°C (Gambar 6). Perbandingan kapur tohor dengan air menentukan jumlah air yang diperlukan untuk mencapai reaksi yang intens. Semakin luas permukaan kapur tohor yang terpapar oleh air, semakin banyak reaksi yang terjadi dan semakin banyak panas yang dihasilkan. Jumlah pelepasan panas ini juga terkait dengan kalsinasi CaCO₃ dan karbonasi CaO, yaitu terjadinya sintering, dimana partikel CaO menjadi menggumpal pada suhu tinggi. Selain itu dimungkinkan terjadinya difusi CO₂ (Ar & Doğu 2001). Untuk memberikan pedoman dan solusi, diperlukan peninjauan terhadap kinetika reaksi dekarbonasi dan karbonasi. Salah satu metodenya adalah menggunakan bahan inert dan melakukan *pretreatment*.

Besaran suhu yang dihasilkan dari reaksi kalsium oksida untuk memasak makanan (kecukupan panas produk makanan saat dimasak) masih cenderung kecil, atau belum menyentuh pada bagian makanan. Suhu produk makanan saat pemasakan umumnya sekitar 70°C, yang bertujuan mematikan bakteri patogen. Sehingga alternatif penggunaan kalsium oksida dari cangkang kerang darah adalah material pemanas untuk penggunaan penghangat makanan saat akan dikonsumsi, yang berkisar 60°C (Brown & Diller 2008).

Nilai pH untuk larutan kapur tohor adalah 11,43±0, sedangkan nilai pH untuk kalsium oksida dari cangkang kerang darah adalah 11,68±0,49, dan zeolit 8,02±106. Larutan campuran zeolit dan kapur tohor memiliki nilai pH 11,56. Karena merupakan unsur alkali, kapur tohor, dan kalsium oksida dari cangkang kerang tergolong basa kuat.

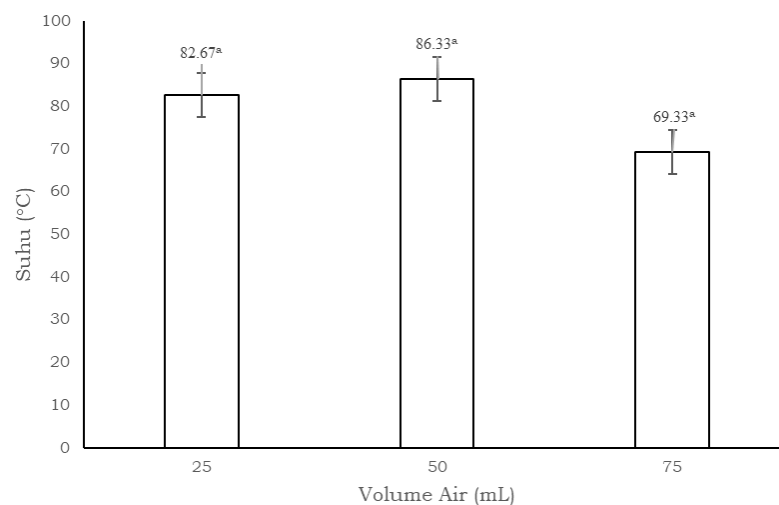
Energi yang dilepas oleh kapur tohor dan kalsium oksida dari cangkang kerang darah berturut-turut 17,64 kJ dan 6,72 kJ. Campuran zeolit dan kapur tohor melepaskan energi 4,94 kJ, sedangkan hanya zeolit terlihat tidak adanya pelepasan energi atau tidak adanya perubahan suhu ketika direaksikan dengan air.

Kapur tohor dan kalsium oksida dari cangkang kerang darah memiliki nilai pH yang lebih tinggi daripada zeolit, sehingga menunjukkan bahwa kapur tohor dan kalsium oksida dari cangkang kerang darah cenderung memiliki sifat basa yang lebih kuat. Energi yang dilepaskan sangat terkait dengan sifat basa ini, yaitu ketika terjadi reaksi antara bahan basa dengan air, ion hidroksida terbentuk, dan reaksi bersifat eksotermik, menghasilkan pelepasan energi dalam bentuk panas. Bahan dengan nilai pH yang lebih tinggi cenderung memiliki potensi untuk melepaskan energi yang lebih besar saat direaksikan dengan air.

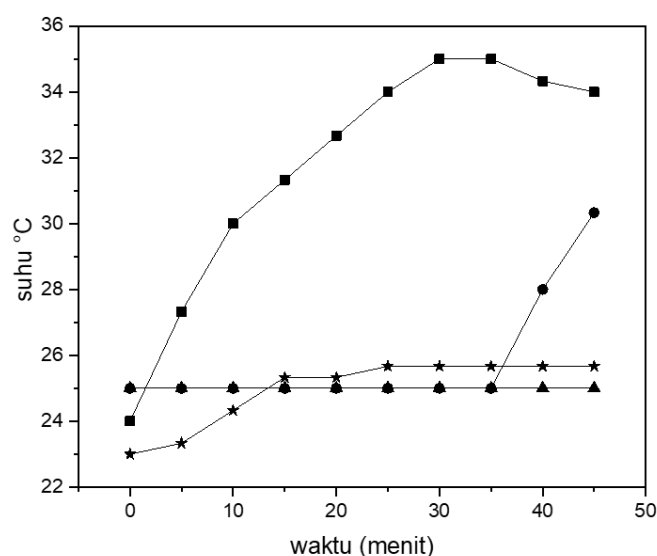
Hasil pengukuran perubahan suhu terhadap waktu menunjukkan kapur tohor, kalsium oksida dari cangkang kerang,

zeolit, dan kombinasi zeolit dan kapur tohor memiliki nilai beragam. Kapur tohor secara berkala mampu menghangatkan bubur dari suhu 27,33°C menit ke-5 pertama kemudian stabil di suhu 34°C pada menit ke-45. Kalsium oksida cangkang kerang darah mengalami kenaikan suhu pada waktu 40 menit menjadi 28°C dan stabil pada menit ke-40 dengan suhu 30,33°C. Zeolit tidak mengalami perubahan suhu setelah 45 menit proses penghangatan. Campuran zeolit dan kapur tohor mampu menaikkan suhu pada waktu ke-10 menit menjadi 24,33°C hingga akhirnya stabil pada waktu 25 menit dengan suhu 25,67 hingga 45 menit. Hamester *et al.* (2012) menyampaikan bahwa kapur

tohor memiliki kandungan CaO 88,1% dan lebih sedikit pengotor SiO₂ dan Al₂O₃ dengan komposisi masing-masing yaitu 0,18% dan 0%, yang berperan dalam memengaruhi reaksi eksoterm. Kalsium oksida cangkang kerang darah untuk menghangatkan bubur paddas lebih rendah, diduga suhu yang dilepas oleh kalsium oksida cangkang kerang darah masih terdapat sejumlah pengotor dan senyawa organik berupa sedimen-sedimen perairan, seperti Si dan Al. Penghilangan pengotor dapat dilakukan dengan suhu kalsinasi yang lebih tinggi, sehingga senyawa pengotor dapat terdekomposisi meninggalkan bahan yang lebih murni. (Gambar 7).



Gambar 6. Perbandingan air yang digunakan terhadap kapur tohor (CaO teknis) untuk menghasilkan efektivitas pemanasan dengan suhu tertinggi



Gambar 7. Perubahan suhu terhadap waktu penghangatan pangan darurat lokal bubur paddas pada kemasan *exotherm reaction-self heating* dengan material kalsium oksida dari cangkang kerang darah. ■- kapur tohor, ●- CaO, ▲- zeolit, ★- zeolit+kapur tohor

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kalsium oksida yang diperoleh dari kalsinasi cangkang kerang darah pada suhu 900°C selama 4 jam memiliki kristalisasi yang menghasilkan perubahan energi (entalpi) -312,20 J/g dan -21,30 J/g, dengan pelepasan panas yang bersifat eksotermik. Melalui perbandingan 1:2 dengan air dan nilai pH 11,68±0,49, kemasan pemanasan sendiri dengan reaksi eksotermik ini mampu menghasilkan panas 6,72 kilojoule atau dapat memanaskan bubbor paddas hingga suhu 28°C setelah menjalani waktu 40 menit untuk mencapai kestabilan suhu. Bubbor paddas sebagai model pangan darurat lokal yang dihasilkan, memiliki takaran saji 380 g dengan asupan harian 510 kilokalori energi.

Saran

Kemurnian kalsium oksida melalui efektivitas kalsinasi dan preparasi cangkang kerang untuk menghilangkan pengotor (pasir) serta peningkatan kemampuan pemanas kalsium oksida melalui penggunaan dengan campuran material lain, seperti aluminium. Saran lain adalah pengembangan model pangan darurat lokal bubbor paddas dengan memperhatikan aspek keamanan pangan dan umur simpan menggunakan teknologi sterilisasi komersial dalam kemasan kantong aluminium atau bentuk pangan instan.

UCAPAN TERIMA KASIH

PT. Indofood Sukses Makmur Tbk yang telah membantu pembiayaan penelitian melalui program Indofood Riset Nugraha.

DAFTAR PUSTAKA

Ar I, Doğu G. 2001. Calcination Kinetics of High Purity Limestones. *Chemical Engineering Journal*. 83(2): 131-137.

Amery H, Azizi MH, Salimi A. 2022. Investigation on Warming Capacity of Zeolite 3A and Water Reaction in Self-heating Cylinder to Warm up Beverages. *Journal of Food Science and Technology*. 19(129): 13-22.

[AOAC] Association of Official Analytical Chemists. 2005. Official Methods

of Analysis of AOAC International. Gaithersburg (US): AOAC International.

- Bharatham H, Zakaria MZAB, Perimal EK, Yusof LM, Hamid M. 2014. Mineral and Physiochemical Evaluation of Cockle Shell (*Anadara granosa*) and Other Selected Molluscan Shell as Potential Biomaterials. *Sains Malaysiana*. 43(7): 1023-1029.
- [BNPB] Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2012. Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 16 Tahun 2012 tentang Pedoman Pengelolaan Gudang Logistik dan Peralatan dalam Status Keadaan Darurat Bencana. Jakarta.
- Brown F, Diller KR. 2008. Calculating the Optimum Temperature for Serving Hot Beverages. *Burns*. 34(5): 648-654.
- Galanakis CM. 2020. The Food Systems in the Era of the Coronavirus (COVID-19) Pandemic Crisis. *Foods*. 9(4): 523.
- Giyatmi, Anggraini DD. 2017. Pengaruh Jenis Nasi terhadap Nilai Gizi dan Mutu Kimiawi Nasi dalam Kemasan selama Penyimpanan sebagai Alternatif Pangan Darurat. *Konversi*. 6(1): 31-41.
- Hamester MRR, Balzer PS, Becker D. 2012. Characterization of Calcium Carbonate Obtained from Oyster and Mussel Shells and Incorporation in Polypropylene. *Materials Research*. 15: 204-208.
- Handayani L, Zuhrayani R, Putri N, Nanda R. 2020. Pengaruh Suhu Kalsinasi terhadap Nilai Rendemen CaO Cangkang Tiram (*Crassostrea gigas*). *Jurnal TILAPIA*. 1(1): 1-6.
- Ho SH, Rahman MM, Sunol AK. 2010. Analysis of Thermal Response of a Food Self-Heating System. *Applied Thermal Engineering*. 30(14-15): 2109-2115.
- Kocot KM, Aguilera F, McDougall C, Jackson DJ, Degnan BM. 2016. Sea Shell Diversity and Rapidly Evolving Secretomes: Insights into The Evolution of Biomineralization. *Frontiers in Zoology*. 13(23): 1-10.
- Maleque KA. 2013. Effects of Exothermic/Endothermic Chemical Reactions with Arrhenius Activation Energy on MHD Free Convection and Mass Transfer Flow in Presence

- of Thermal Radiation. *Journal of Thermodynamics*. 2013(1): 1-11.
- Mao B, Huang P, Chen H, Wang Q, Sun J. 2020. Self-Heating Reaction and Thermal Runaway Criticality of The Lithium Ion Battery. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 149: 119178.
- Maswita M. 2021. Tradisi Makanan Bubur Pedas pada Masyarakat Melayu Batubara (Suatu Kajian Antropologis). *Jurnal Normatif*. 1(1): 43-48.
- Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2019. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2019 tentang Angka Kecukupan Gizi yang Dianjurkan untuk Masyarakat Indonesia. Jakarta.
- Murthy MS, Harish BR, Rajanandam KS, Kumar KYAP. 1994. Investigation on The Kinetics of Thermal Decomposition of Calcium Carbonate. *Chemical Engineering Science*. 49(13): 2198-2204.
- Naja F, Hamadeh R. 2020. Nutrition Amid the COVID-19 Pandemic: A Multi-Level Framework for Action. *European Journal of Clinical Nutrition*. 74: 1117-1121.
- Parniakov O, Bals O, Barba FJ, Mykhailyk V, Lebovka N, Vorobiev E. 2018. Application of Differential Scanning Calorimetry to Estimate Quality and Nutritional Properties of Food Products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 58(3): 362-385.
- Philipp R, Fujimoto K. 1992. FTIR Spectroscopic Study of Carbon Dioxide Adsorption/Desorption on Magnesia/Calcium Oxide Catalysts. *The Journal of Physical Chemistry*. 96(22): 9035-9038.
- Presiden Republik Indonesia. 2007. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana. Jakarta.
- Rusiardy I, Yasni S, Syamsir E. 2014. Karakteristik Bubur Pedas dalam Kemasan Kaleng. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 25(2): 185-192.
- Salaudeen SA, Acharya B, Dutta A. 2018. CaO-based CO₂ Sorbents: A Review on Screening, Enhancement, Cyclic Stability, Regeneration, and Kinetics Modelling. *Journal of CO₂ Utilization*. 23: 179-199.
- Setyaningsih D, Apriyantono A, Sari MP. 2010. *Analisis Sensori untuk Industri Pangan dan Argo*. Bogor (ID): IPB Press.
- Suwannasingha N, Kantavong A, Tunkijjanukij S, Aenglong C, Liu HB, Klaypradit W. 2022. Effect of Calcination Temperature on Structure and Characteristics of Calcium Oxide Powder Derived from Marine Shell Waste. *Journal of Saudi Chemical Society*. 26(2): 101441.
- Widyastuti S, Evawati D. 2019. Proximate Characteristics of Nano Calcium in Blood Cockle (*Anadara granosa* Liin) Shell from Four Different Locations. *The International Conference Research Collaboration of Environmental Science, 12 March 2018, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Zoumas BL, Armstrong LE, Backstrand JR, Chenoweth WL, Chanachoti P, Klein BP, Lane HW, Marsh KS, Tolvanen M. 2002. *High Energy, Nutrient-Dense Emergency Relief Product. Subcommittee on Technical Specifications for a High-Energy Emergency Relief Ration, Committee on Military Nutrition Research*. Washington (US): National Academies Press.