

Rancang Bangun Bahan Pengganti Es Batu Menggunakan Material Alternatif

Luthfi^{1*}, Turmizi², Jefrizal³, Rajaul Khairi⁴

^{1,2,4} *Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA*

³ *Workshop PT. Pupuk Iskandar Muda, Jl. Medan - Banda Aceh,
Krueng Geukueh, Aceh Utara, 24354 INDONESIA*

^{1*} luthfi@pnl.ac.id(penulis korespondensi)

Abstrak— Es batu berbahan dasar air telah lama digunakan sebagai media pendingin pada minuman atau makanan. Karena murah dan mudah diperoleh, es batu hampir tidak tergantikan penggunaannya pada industri makanan dan minuman walaupun memiliki kekurangan dapat mencair dan mengurangi rasa dari minuman dan makanan yang didinginkan. Material alternatif yang dibuat sebagai es pada penelitian ini tidak meleleh saat digunakan karena terbuat dari logam. Dalam artikel ini akan dipaparkan proses desain dan manufaktur es batu berbahan dasar stainless steel austenitic 316 food grade. Proses manufaktur es batu ini akan dibahas dan didiskusikan secara detail yang meliputi proses pemotongan dengan menggunakan mesin gergaji, proses milling menggunakan mesin frais untuk meratakan permukaan, proses fillet untuk menghilangkan sudut tajam menggunakan gerinda duduk dan proses penghalusan permukaan menggunakan gerinda tangan. Prosedur pengujian seberapa efektif es batu alternatif ini dibandingkan dengan es batu berbahan dasar air akan juga dijelaskan. Hasil pengujian menunjukkan walaupun performansi penyimpanan kalor termalnya belum sebaik air, stainless steel austenitic 316 sebagai bahan utama es batu alternatif, memiliki potensi yang cukup baik digunakan untuk menggantikan es batu yang berbahan dasar air.

Kata kunci— ice cube, stainless steel, austenitic 316, material alternatif, heat storage

Abstract— Water-based ice cube has been long used as cooling media for food and beverages. Due to the low price and ease of obtaining, water-based ice cubes have been unreplaceable in the food and beverages industry, albeit their weaknesses and limitations are that it quickly melts and dissolves inside the food and beverages in which it is used. The alternative material used as an ice cube in this study does not melt as it is made from metal. This article will cover the design and manufacture of ice cubes made from stainless steel austenitic 316 food grade. The manufacturing processes of these ice cubes will be discussed in detail, which will cover the cutting process using a saw machine, the machining process to create a flat surface using a milling machine, creating fillets on the sharp corner of the ice cubes using a grinding machine and polishing the surfaces using a hand grinding machine. The testing procedure to find out how effective are these stainless steel ice cubes compared to water-based ice cubes will also be discussed. The testing results revealed that although the thermal energy storage performance is not as good as water, stainless steel austenitic 316 as the material for manufacturing ice cubes, has good potential for replacing water-based ice cubes.

Keywords— ice cube, stainless steel, austenitic 316, alternative material, heat storage

I. PENDAHULUAN

Sejak pertama kali ditemukannya teknologi refrigerasi, es batu berbahan dasar air telah lama digunakan dalam pembuatan makanan dan minuman. Dalam pembuatan minuman dingin dan segar baik di cafe maupun di rumah, es batu dimasukkan ke dalam gelas untuk kemudian dicampurkan dengan air dan berbagai macam bahan minuman. Cara ini sangat umum digunakan walaupun memiliki banyak kekurangan, salah satunya adalah karena sifat es yang mencair yang kemudian bercampur dengan bahan minuman. Akibat proses pencampuran air dari es yang meleleh, kandungan bahan minuman akan berkurang sehingga semakin banyak es yang mencair maka akan semakin berkurang rasa dari minuman tersebut. Sejak pertama kali es batu digunakan dalam minuman, hal ini telah lama menjadi kendala yang selalu dikeluhkan oleh banyak orang dan tidak dapat dihindari.

Usaha dan penelitian untuk mengatasi kekurangan dari es batu yang terbuat dari air sebagai media penyimpan kalor telah banyak dilakukan. Namun hampir seluruh studi yang dilakukan hanya terbatas di bidang material berubah fasa atau sering disebut Phase Change Material (PCM). Wang et al. [1] melakukan evaluasi performansi dari suatu PCM untuk digunakan pada suatu bangunan cold storage secara eksperimental dan simulasi numerik. PCM yang mereka gunakan dalam eksperimen adalah es yang terdiri dari

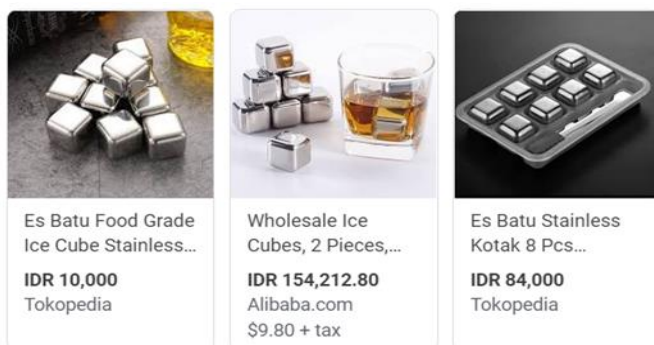
campuran air, garam dan bahan-bahan organik sedangkan model numerik mereka berupa persamaan kalor konduksi transien dalam koordinat kartesius satu dimensi. Mereka menemukan PCM yang mereka gunakan sangat berpotensi karena memiliki densitas kalor laten yang tinggi. Terkait dengan hal ini Oro et al. [2] telah melakukan studi yang lebih luas mengenai penggunaan PCM dalam aplikasi penyimpanan energi termal. Berbagai jenis PCM yang digunakan pada temperatur kurang dari 20 °C oleh banyak peneliti dirangkum dan sifat-sifat termofisik dari PCM tersebut dibuat dalam bentuk tabel dan grafik. Ada sekitar 88 jenis PCM yang direview dimana 40 diantaranya tersedia secara komersial di pasaran. Tabel ini dapat digunakan untuk memilih PCM yang tepat untuk penggunaan PCM pada truk, supermarket atau untuk aplikasi pengkondisian udara.

Contoh kasus yang lebih jelas mengenai penggunaan PCM sebagai media penyimpanan energi termal pada temperatur medium dan rendah diberikan oleh Pereira da Cunha dan Eames [3]. Mereka juga melakukan review terhadap berbagai jenis PCM, namun mereka menemukan bahwa PCM yang terdiri dari senyawa organik dan garam hidrat adalah PCM yang paling menjanjikan. Mereka juga meninjau adanya peningkatan laju perpindahan kalor pada alat penukar kalor yang menggunakan PCM sebagai media. Studi lain yang mereview penggunaan PCM sebagai penyimpan kalor pada aplikasi sistem refrigerasi dilakukan oleh Selvnes et al. [4].

Mereka membuat klasifikasi PCM berdasarkan temperatur dan aplikasinya seperti untuk pengkondisian udara (AC) 20 °C sampai dengan temperatur pembekuan dari makanan – 65 °C Mereka merangkum berbagai teknologi terbaru dan penelitian yang dilakukan pada penyimpanan energi termal yang menggunakan PCM. PCM yang tersedia di pasaran dalam rentang temperatur 10 °C sampai dengan – 65 °C dibuat daftarnya dalam bentuk tabel. Sifat-sifat termofisik termasuk cara menghitungnya juga ditampilkan dalam tabel mereka. Kemudian berbagai studi dan riset pada topik penyimpan energi termal dingin mereka review dan kelompokkan berdasarkan aplikasinya seperti pengemasan dan transportasi makanan, refrigerasi komersial dan berbagai sistem refrigerasi lainnya.

Studi PCM yang memang langsung berkaitan dengan minuman dingin dilakukan oleh Ezan et al. [5]. Mereka melakukan studi penggunaan bongkahan PCM yang dimasukkan ke dalam pendingin minuman vertikal secara numerik dengan menggunakan simulasi komputasi fluida dinamik menggunakan software aplikasi ANSYS FLUENT. Mereka meneliti konsumsi energi, stabilitas termal karakteristik aliran udara di dalam pendingin minuman tersebut. Mereka meneliti pengaruh ketebalan PCM dengan menggunakan 5 buah bongkahan PCM dengan ketebalan yang berbeda. Studi mereka dilakukan secara transien dalam koordinat kartesius satu dimensi (1D) dan dua dimensi (2D). Mereka menemukan dengan menggunakan bongkahan PCM dapat memperlama waktu mati dari kompresor pada pendingin minuman sehingga berpotensi untuk menghemat listrik.

Studi PCM yang paling mirip dengan penelitian yang dilakukan disini adalah studi peralatan pendinginan minuman yang dapat digunakan kembali (reusable) yang dilakukan oleh Kumar et al. [6]. Mereka berpendapat banyak es batu yang digunakan dalam minuman saat ini tidak aman untuk digunakan karena banyak mengandung bakteri patogen. Mereka menyarankan PCM yang mereka ciptakan lebih aman untuk dipakai dalam minuman. Mereka memasukkan PCM ke dalam suatu casing logam yang kemudian digunakan sebagai pengganti es batu berbahan air. PCM yang mereka gunakan terdiri dari campuran air portable (PW), air distilasi, garam dan gula. Dari hasil pengujian peralatan ini, mereka menemukan peralatan mereka sama efektifnya dengan es batu berbahan air.



Gambar 1. Stainless steel ice cube yang dijual di pasar online

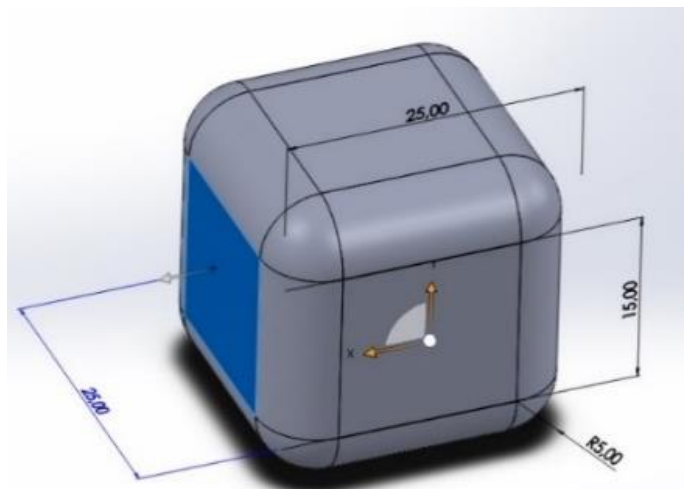
Dari berbagai studi material penyimpan energi termal sebagai media pendinginan, hingga saat ini belum ada yang meneliti penggunaan logam terutama stainless steel sebagai bahan alternatif pengganti es batu untuk makanan atau minuman. Namun secara komersial, stainless steel ice cube untuk makanan atau minuman banyak dijual di pasar online.

Contoh dari penjualan komersial dari stainless steel ice cube dapat dilihat pada Gambar 1. Karena belum pernah ada yang mempelajari karakter dan efektivitas dari stainless steel ice cube ini, belum diketahui apakah memang bisa menggantikan es batu atau tidak. Oleh karena itu, pengarang tertarik untuk meneliti sejauh mana stainless steel dapat menggantikan es batu berbahan dasar air. Dalam artikel akan dilakukan studi rancangan suatu ice cube dengan menggunakan material alternatif yaitu stainless food grade 316 dan akan membandingkan keefektifan dan seberapa efisien ice cube tersebut dibandingkan menggunakan es batu biasa.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Desain ice cube

Bentuk dari stainless steel ice cube didesain sedemikian rupa hingga berbentuk dadu dengan ukuran 25 mm×25 mm × 25 mm. Sisi tajam dari ice cube ini dibuat menjadi fillet untuk menghindari konsumen dari kemungkinan tersayat olehnya. Konsep desain dari ice cube ini kemudian dibuat gambarnya dengan menggunakan software aplikasi Solid Work 2018 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2. Dari gambar dapat dilihat fillet dengan diameter 5 mm memberikan bentuk ice cube yang cukup proporsional.



Gambar 2. Ice Cube setelah di fillet

B. Alat dan bahan

Stainless steel ice cube dengan bentuk yang telah didesain sebelumnya dibuat dari suatu pelat stainless steel 316 melalui serangkaian proses permesinan untuk dapat mencapai bentuk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pelat stainless steel 316 dibeli secara online dengan ukuran 100 mm × 100 mm × 25 mm (Gambar 3). Setelah spesimen dibentuk, spesimen kemudian diuji dengan dicelupkan ke dalam gelas berisi air dan kemudian dibandingkan dengan es batu yang juga dicelupkan dalam gelas berisi air dengan kondisi yang sama. Selama proses pengujian temperatur dimonitor dan dicatat selama selang waktu tertentu.



Gambar 3. Bahan baku Pelat Stainless Steel Austenitic 316

Peralatan yang diperlukan untuk dapat memotong; membuat fillet menghaluskan permukaan dan proses pengujian spesimen dapat dilihat pada Tabel 1 dan bahan yang digunakan untuk proses pembuatan dan pengujian spesimen dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Alat Penelitian

No.	Alat
1.	Mesin Gergaji <i>Bandsaw Machine Metal Cutting</i>
2.	Mesin Frais
3.	Mesin Gerinda Duduk
4.	Mesin Gerinda Tangan Polishing
5.	Jangka Sorong
6.	<i>Thermometer</i>
7.	Gelas Ukur Volome Air
8.	Gelas Kaca Bening

Tabel 2. Bahan Penelitian

No.	Bahan
1.	Air Minum 240 ml
2.	Es Batu Air
3.	Pelat Stainless Steel Austenitic 316

C. Proses manufaktur spesimen

Karena bahan stainless steel 316 cukup keras dan memerlukan peralatan khusus standar industri, pembuatan spesimen sebagian besar dikerjakan pada Workshop PT. PIM dengan bantuan teknisi di sana. Hanya pada tahap penghalusan permukaan akhir saja yang dikerjakan di Politeknik Negeri Lhokseumawe. Proses manufaktur pembuatan spesimen dengan konfigurasi dan dimensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 terdiri dari proses milling untuk membentuk permukaan yang rata; proses gergaji untuk memotong bahan; proses pembentukan fillet dan proses penghalusan permukaan.

Proses pemotongan bahan menggunakan mesin gergaji potong Band Saw Machine Metal Cutting. Karena stainless steel 316 cukup keras dan bahan baku cukup tebal sekitar 25 mm, mata gergaji yang digunakan adalah Lenox Band 24 Saw Blades. Bahan diposisikan sedemikian rupa pada ragum mesin secara vertikal agar pemakanan atau gesekan mata potong tidak terlalu banyak sehingga material dapat dipotong. Detail dari mata gergaji dan posisi bahan baku pada ragum mesin gergaji dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses pemotongan pelat stainless steel

Mesin gergaji dijalankan dengan kecepatan 90 FPM dan feed rate 1 in/min. Pemotongan pertama-tama dilakukan dengan memotong pelat menjadi 2-3 bagian (Gambar 5), lalu hasil dari potongan pertama dipotong sebanyak lagi sebanyak 4-9 spesimen berbentuk kubik sesuai ukuran pada desain (Gambar 5).



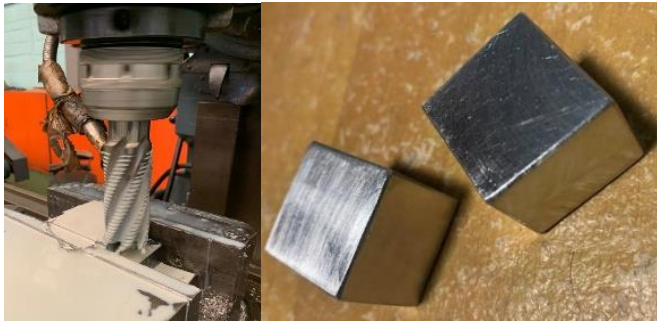
Gambar 5. Pemotongan menjadi 3 bagian



Gambar 6. Pemotongan menjadi bentuk kubik

Hasil pemotongan spesimen dengan menggunakan gergaji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, memiliki ukuran kurang lebih 30 mm × 30 mm × 30 mm. Spesimen kemudian diratakan permukaannya dan diproses hingga mencapai ukuran desain 25mm × 25 mm × 25 mm dengan

menggunakan mesin frais. Proses milling dengan mesin frais menggunakan mata pahat permukaan rata Cutter Mantel HSS. Mesin frais dijalankan dengan kecepatan potong (Cs) 40 m/menit dan putaran mesin 430 rpm. Proses milling spesimen dan spesimen dari hasil milling dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Proses milling (kiri) dan spesimen hasil milling (kanan)

Setelah proses milling selesai, maka selanjutnya dilakukan proses fillet dengan menggunakan gerinda duduk agar spesimen tersebut tidak bersudut (tajam), lebih ergonomis, dan tidak mencederai konsumen ketika digunakan. Sebelum dilakukannya proses fillet, perlu ditandai ukuran radius fillet spesimen dengan radius 5mm. Kecepatan putaran mesin gerinda Krisbow adalah 2850 RPM. Proses pembuatan fillet dan hasil dari fillet spesimen dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Proses pembuatan fillet (kiri) dan spesimen setelah dibuat fillet (kanan)

Proses gerinda tangan polisher digunakan untuk menghilangkan sisa proses pemesinan dan untuk menghaluskan permukaan spesimen. Proses ini merupakan proses terakhir agar spesimen lebih ergonomis dan mencapai standar kekasaran permukaan $Ra = 0,4 (\mu m)$ dengan tingkat kekasaran N5. Proses gerinda tangan polisher dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Proses menghaluskan permukaan (kiri) dan hasilnya (kanan)

D. Pengujian spesimen

Pengujian spesimen dilakukan dengan membandingkan temperatur air yang dicelupkan spesimen dengan temperatur air yang diberi es batu. Supaya perbandingan antara spesimen dengan es batu benar dan akurat volume es yang digunakan haruslah kira-kira sama dengan volume dari spesimen [4].

Volume dari spesimen diukur dengan mencelupkan sesimen ke dalam gelas ukur yang telah diisi air sebanyak 240 ml seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10. Dari gambar terlihat total volume air pada gelas ukur setelah dicelupkan spesimen adalah kurang lebih 290 ml. Ini berarti volume spesimen adalah kira-kira $290 \text{ ml} - 240 \text{ ml} = 50 \text{ ml}$. Spesimen pembeding es batu kemudian dibuat dengan menggunakan bahan air sebanyak 50 ml. Es batu dan spesimen yang telah didinginkan yang akan digunakan dalam pengujian dapat dilihat pada Gambar 11.

Proses pengujian spesimen stainless steel ice cube dan es batu dilakukan pada gelas transparan biasa seperti yang sering digunakan oleh café untuk melayani konsumen dengan minuman-minuman dingin dengan tujuan supaya hasil pengujian bersifat seperti sebagaimana es batu biasa dipakai sehari-hari. Ada dua gelas yang digunakan pada saat yang bersamaan, masing-masing diisi stainless steel ice cube dan es batu. Kedua gelas kemudian diisi air sampai penuh dengan ketinggian air yang sama. Temperatur kemudian diukur setiap 5 – 15 menit sekali dengan menggunakan termometer. Konfigurasi spesimen, gelas dan termometer pada saat pelaksanaan pengujian dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 10. Gelas ukur berisi air 240 ml (kiri) dan gelas ukur dicelupkan spesimen (kanan)



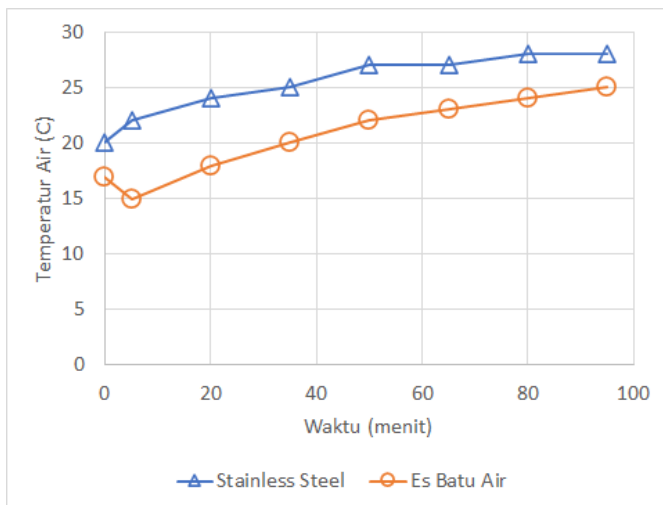
Gambar 11. Spesimen stainless steel ice cube dan spesimen es batu



Gambar 12. Konfigurasi gelas, spesimen dan termometer pada pengujian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Grafik dari hasil pengukuran temperatur air dalam gelas berisi stainless steel ice cube dan es batu sebagai fungsi dari waktu dapat dilihat pada Gambar 13. Perbedaan temperatur yang lebih besar mula-mula terlihat dari grafik lalu secara perlahan temperatur dari air yang menggunakan stainless steel ice mulai mendekati temperatur air yang menggunakan es batu.



Gambar 13. Grafik hasil pengujian spesimen

Dari hasil perbandingan dapat dilihat es batu air masih lebih efektif dalam mendinginkan air minum dibandingkan stainless steel ice cube. Namun, perbedaannya tidak terlalu besar sehingga stainless steel ice cube austenitic 316 ini dinilai sangat berpotensi untuk menggantikan es batu dengan efektif. Metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi stainless steel ice hingga bisa mendekati performansi es batu merupakan tantangan penelitian di masa depan.

IV. KESIMPULAN

Ice cube menggunakan material alternatif stainless steel 316 telah berhasil dibuat dengan menggunakan serangkaian proses manufaktur yang terdiri dari pemotongan menggunakan gergaji; perataan permukaan menggunakan mesin frais; pembuatan fillet menggunakan gerinda duduk dan penghalusan permukaan menggunakan gerinda tangan. Proses pengujian dan perbandingan spesimen yang akurat menggunakan air, es batu, gelas dan termometer telah berhasil dijalankan dengan baik dan telah diperoleh hasil yang menunjukkan walaupun es batu masih tetap lebih efektif dari stainless steel dalam mendinginkan air, namun perbedaannya tidak terlalu besar. Sehingga potensi stainless steel untuk dimanfaatkan sebagai bahan alternatif dari es batu di masa depan sangat besar.

REFERENSI

- [1] C. Wang, Z. He, H. Li, R. Wennerstern, and Q. Sun, "Evaluation on Performance of a Phase Change Material Based Cold Storage House," *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 3947–3952, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.820.
- [2] E. Oró, A. de Gracia, A. Castell, M. M. Farid, and L. F. Cabeza, "Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications," *Appl. Energy*, vol. 99, pp. 513–533, 2012, doi: 10.1016/j.apenergy.2012.03.058.
- [3] J. Pereira da Cunha and P. Eames, "Thermal energy storage for low and medium temperature applications using phase change materials - A review," *Appl. Energy*, vol. 177, pp. 227–238, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.05.097.
- [4] H. Selvnnes, Y. Allouche, R. I. Manescu, and A. Hafner, "Review on cold thermal energy storage applied to refrigeration systems using phase change materials," *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 22, no. December 2020, p. 100807, 2021, doi: 10.1016/j.tsep.2020.100807.
- [5] M. A. Ezan, E. Ozcan Doganay, F. E. Yavuz, and I. H. Tavman, "A numerical study on the usage of phase change material (PCM) to prolong compressor off period in a beverage cooler," *Energy Convers. Manag.*, vol. 142, pp. 95–106, 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.03.032.
- [6] G. M. Kumar, M. Mutharayappa, D. H. Rajappa, and B. A. Anand, "Reusable device for cooling beverages and liquid foods: A novel approach to replace ice in glass," *J. Food Process Eng.*, p. e14074, 2022.