

Studi distribusi temperatur pada tradisi bakar batu papua sebagai sistem pemanasan tradisional multi lapisan

Samuel Parlindungan Siregar^{a,b,1}, Johni Jonatan Numberi^b, Joni^b, Mickael Ruben Kaiway^a,

^aUniversitas Cenderawasih, Jayapura, 99351

^bProgram Studi Teknik Mesin, Cenderawasih, Jayapura, 99351

¹samuel_siregar@ftuncen.ac.id

Abstract. The *Bakar Batu* (Barapen) tradition is a communal cooking method practiced by the indigenous people of Papua, Indonesia, that uses heat from preheated volcanic stones arranged in layered systems with food, leaves, and soil. This study aims to analyze the vertical temperature distribution within this traditional multi-layered heating system and evaluate its thermal effectiveness in achieving complete food cooking. An experimental field approach was employed, involving the installation of K-type thermocouples at five vertical points from the stone base to the surface, accompanied by thermal imaging using an infrared camera. Temperature data were recorded over 90 minutes and analyzed using a one-dimensional transient heat-conduction model, as well as calculations of temperature gradients and heat flux. The results show a gradual upward propagation of heat, with the base stones reaching up to 510 °C and the food layer attaining a maximum temperature of 98 °C at minute 40. The highest heat flux was observed at the hot stone-food interface (2955 W/m²), indicating the most active heat-transfer zone. The core food temperature remained above 90 °C for over 20 minutes, which is sufficient for complete biological cooking. This research confirms that the *Bakar Batu* system demonstrates high thermal efficiency and can serve as a reference model for sustainable thermal system design rooted in local wisdom.

Keywords: Bakar Batu, temperature distribution, traditional heating system, thermal gradient, Papua

Received: 30 September 2025; **Presented:** 9 October 2025; **Publication:** 9 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/jwcw7768>

PENDAHULUAN

Tradisi Bakar Batu atau Barapen merupakan salah satu praktik kuliner dan sosial yang khas dari masyarakat pegunungan Papua, khususnya di wilayah Lembah Baliem dan sekitarnya. Tradisi ini dilakukan dengan memanaskan batu di atas api terbuka hingga mencapai suhu tinggi, kemudian batu-batu tersebut disusun secara berlapis dengan makanan dan dedaunan dalam lubang tanah, lalu ditutup rapat. Proses ini menciptakan sistem pemanasan alami tanpa menggunakan peralatan logam atau modern. Selain nilai budaya yang kuat, praktik ini mencerminkan sistem termal tradisional yang cukup kompleks, melibatkan perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi di dalam susunan berlapis. Namun, pemahaman ilmiah mengenai efisiensi panas dan distribusi suhu dalam sistem ini masih terbatas, sehingga perlu kajian fisika termal untuk menjelaskan prinsip kerja sistem ini sebagai teknologi pemanasan alami berbasis kearifan lokal [1].

Sejumlah penelitian telah membahas aspek budaya dari tradisi Bakar Batu, seperti oleh Jiharudin [2] yang menyoroti fungsi sosial Barapen sebagai sarana pemersatu komunitas dalam momen penting. Dari sisi teknik, studi termal oleh Hermawan [3] menggunakan optimasi sistem oven batu tradisional pada proses memasak tradisional, namun belum fokus pada Barapen secara spesifik. Penelitian Budiarti dan B. Yanwar [4] mengulas prinsip perpindahan panas dalam sistem tertutup berbasis batu panas, tetapi studi mereka berbasis simulasi laboratorium. Hingga saat

ini, belum ditemukan kajian ilmiah yang secara spesifik mengukur distribusi temperatur vertikal dan horizontal dalam sistem bakar batu secara langsung di lapangan. Hal ini menandakan adanya kesenjangan kajian ilmiah yang cukup nyata antara nilai budaya yang kaya dengan aspek teknis yang belum tergalai secara kuantitatif.

Kesenjangan utama dari kajian terdahulu adalah belum adanya studi eksperimen lapangan yang secara sistematis mengukur distribusi temperatur antarlapisan dalam sistem Bakar Batu Papua. Penelitian yang tersedia lebih banyak membahas aspek antropologis, atau studi perpindahan panas dalam sistem tertutup lain seperti oven tanah atau tungku batu bata. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan melalui pendekatan kuantitatif berbasis pengukuran suhu aktual dengan termometer digital dan kamera termal untuk menggambarkan distribusi panas secara spasial dalam sistem Barapen. Pendekatan ini memungkinkan pemetaan zona suhu berdasarkan kedalaman dan waktu, yang sebelumnya belum pernah dilakukan dalam konteks ini.

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada dua hal utama. Pertama, penelitian ini mengombinasikan pendekatan eksperimen lapangan dan prinsip termodinamika untuk mengukur distribusi suhu pada sistem pemanas tradisional berbasis batu panas. Kedua, pendekatan multi-lapisan pada sistem Barapen ditinjau sebagai model sistem pemanas alami dengan efisiensi termal yang dapat dibandingkan dengan teknologi modern, namun dengan bahan dan teknik

sederhana. Studi ini juga membuka perspektif tentang bagaimana kearifan lokal dapat dikaji dari sisi sains terapan dan berkontribusi pada desain teknologi pemanas pasif yang berkelanjutan [5].

Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bagaimana distribusi suhu terbentuk dalam sistem Barapen dan bagaimana susunan lapisan batu, daun, dan bahan makanan memengaruhi efisiensi perpindahan panas. Berdasarkan permasalahan tersebut, hipotesis yang diajukan adalah bahwa sistem pemanasan Barapen memiliki distribusi temperatur bergradasi dengan efisiensi pemanasan tinggi pada zona tengah (makanan) sebagai akibat dari konfigurasi termal multilapisan yang bekerja secara sinergis. Hipotesis ini diuji melalui pengukuran lapangan yang mencakup suhu di berbagai titik dan waktu selama proses berlangsung.

Pendekatan yang digunakan adalah studi lapangan berbasis observasi eksperimental dan dokumentasi suhu menggunakan perangkat termal digital. Sistem pengukuran dirancang untuk mencatat suhu dari berbagai titik (atas, tengah, bawah) selama proses berlangsung secara real-time. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dan komparatif untuk melihat pola distribusi dan efisiensi termal. Metode ini digunakan untuk mendapatkan gambaran menyeluruh tentang dinamika suhu dalam sistem pemanasan tradisional yang kompleks, namun belum terdokumentasi secara ilmiah [6].

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengkaji distribusi temperatur dalam sistem Bakar Batu Papua dan mengevaluasi prinsip termal yang berlaku dalam praktik tersebut. Kontribusi dari studi ini meliputi penerapan prinsip Barapen pada desain sistem pemanas alternatif berbasis bahan lokal.

Penelitian mengenai sistem pemanasan tradisional belum banyak yang secara spesifik membahas sistem bakar batu Papua. Studi oleh Suparno [7] memanfaatkan pencitraan termal inframerah untuk menganalisis efisiensi panas dalam sistem tungku tanah tradisional. Penelitian ini menunjukkan bagaimana suhu menyebar dalam ruang terbatas dengan media batu bata dan tanah liat. Metode pengukuran menggunakan kamera termal FLIR dan sensor suhu digital.

Penelitian oleh Niau et al. (2022) [8] melakukan eksperimen untuk menghitung laju perpindahan panas dengan mengukur suhu di dalam lubang barapen selama 95 menit. Hasil penelitian mereka menunjukkan adanya penurunan laju panas dari 10,4 J/menit pada awal proses menjadi 0 J/menit setelah 60 menit, mengindikasikan tercapainya keseimbangan termal. Mereka menggunakan persamaan dasar laju perpindahan panas:

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = k \cdot A \frac{dT}{d} \quad (1)$$

Di mana H adalah laju perpindahan panas (W), k adalah konduktivitas termal material (W/m·K), A adalah luas penampang (m²), ΔT adalah perbedaan suhu (K), d = ketebalan lapisan (m).

Distribusi temperatur dalam sistem multi lapisan seperti barapen juga dapat dianalisis melalui hukum Fourier untuk konduksi panas:

$$q = -k \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

Selain itu, konsep kapasitas panas batu digunakan untuk memperkirakan energi yang tersimpan dalam batu panas sebelum dimasukkan ke dalam lubang. Energi tersebut dihitung dengan rumus:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (3)$$

Di mana Q adalah energi panas (J), m adalah massa batu (kg), c adalah kalor jenis batu (J/kg·K), ΔT adalah perubahan suhu batu (K).

Wambrau (2020) [9], dari sudut pandang antropologis, menyatakan bahwa **Barapen** berfungsi tidak hanya sebagai metode memasak, tetapi juga sebagai ritual pemersatu sosial masyarakat Papua. Meskipun tidak membahas aspek termodinamika, penelitian ini penting untuk memahami struktur umum proses dan urutan pelapisan batu, daun, dan makanan. Hal ini dapat dimanfaatkan sebagai dasar desain eksperimen termal dalam konteks tradisional.

Sementara itu, Romainum (2022) [10] menekankan bahwa praktik kuliner lokal seperti Barapen dapat menjadi model ketahanan pangan berbasis budaya, namun belum ditelaah dari segi efisiensi energi. Penelitian ini memberikan dorongan bahwa perlu adanya dokumentasi dan kuantifikasi ilmiah terhadap praktik-praktik tradisional tersebut.

Penelitian oleh Abdelrahman et al. (2019) [11] menginvestigasi distribusi suhu dalam oven tanah tradisional di Sudan untuk memanggang roti lokal. Mereka menggunakan model eksperimental dan simulasi CFD (Computational Fluid Dynamics) untuk memetakan distribusi temperatur vertikal dan horizontal. Hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi pemanasan sangat tergantung pada geometri oven dan jenis bahan isolasi tanah liat dan jerami.

Studi oleh Chandrakant et al. (2020) [12] menilai performa termal pembakaran tradisional menggunakan kombinasi termokopel dan pencitraan inframerah. Penelitian ini menunjukkan bahwa distribusi panas sangat dipengaruhi oleh struktur dinding dan jenis bahan penyusun, dengan mayoritas panas hilang melalui konveksi dari permukaan terbuka.

Penelitian lain oleh Hermawan dan Nugroho (2022) [13] mengembangkan oven batu berbasis material lokal di Nusa Tenggara Timur. Studi ini menguji variasi ketebalan lapisan batu dan hubungannya dengan distribusi panas. Mereka menyimpulkan bahwa kombinasi batu vulkanik dan tanah liat mampu mempertahankan suhu tinggi hingga 2 jam, dan efisiensi termal meningkat secara signifikan dengan penataan lapisan bergradasi.

Secara umum, sebagian besar studi sebelumnya lebih menekankan pada aspek sosial budaya atau pada simulasi sistem pemanasan serupa, namun bukan *Barapen* secara spesifik. Belum ada penelitian terdahulu yang secara langsung mengukur distribusi temperatur pada sistem multi-lapisan bakar batu di lapangan menggunakan perangkat pengukuran modern seperti kamera termal dan termokopel. Oleh karena itu, pendekatan eksperimental langsung yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan suatu kebaruan, sekaligus mengisi celah penelitian sebelumnya.

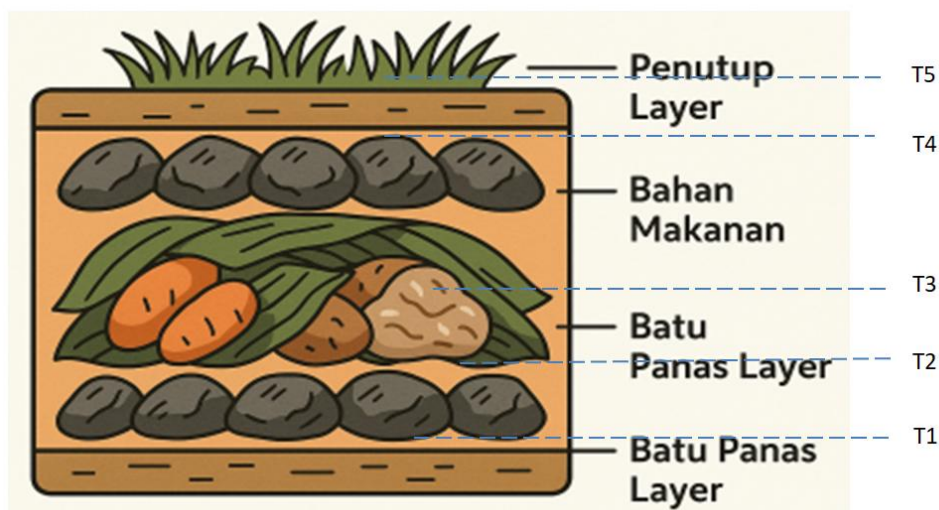
METODOLOGI

Penelitian dilakukan secara eksperimental di lokasi pelaksanaan Bakar Batu di Jayapura, Papua. Sensor suhu digital termokopel tipe K dipasang secara vertikal pada lima titik dengan kedalaman berbeda: dasar batu (T1), antara batu dan makanan (T2), dalam bahan makanan (T3), antara makanan dan lapisan penutup (T4), serta permukaan atas tanah (T5).

Pengambilan data dilakukan setiap 10 menit selama 90 menit. Selain itu, digunakan juga kamera termal inframerah untuk memetakan sebaran suhu secara visual selama proses berlangsung. Sistem Bakar Batu direkonstruksi sebagaimana aslinya oleh masyarakat lokal, terdiri atas lapisan pertama yaitu lapisan bawah (batu panas): Batu yang dipanaskan dalam api selama 2–3 jam hingga suhu mencapai $>500\text{ }^{\circ}\text{C}$, lapisan kedua yaitu lapisan tengah (bahan makanan + daun pisang): Sumber pangan seperti ubi, sayur, dan daging ditumpuk dan dibungkus dedaunan, dan lapisan ketiga yaitu lapisan atas (penutup): Batu panas tambahan, rumput, dan tanah sebagai isolator.

Lima titik pengamatan suhu berada pada kedalaman 0 cm (T1) yaitu Batu panas dasar, 10 cm (T2) yaitu antara batu dan makanan, 20 cm (T3) yaitu di dalam makanan, 30 cm (T4) yaitu antara makanan dan penutup, 40 cm (T5) yaitu permukaan tanah atas (terkena udara luar)

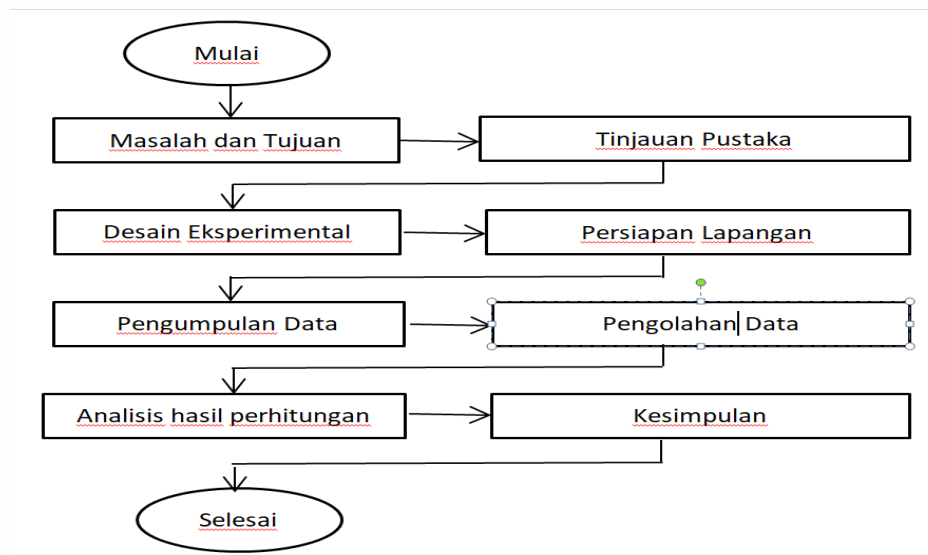
Uji ulang dilakukan dalam dua sesi berbeda pada waktu dan lokasi yang sama, dengan parameter lingkungan yang dikontrol (kondisi cuaca, jenis batu, dan metode pelaksanaan tetap seragam). Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil sensor dengan output kamera termal pada area yang sama untuk mengecek akurasi pengukuran.



Gambar 1. Bakar Batu.

Tabel 1. Peralatan yang digunakan.

No	Nama Alat	Jenis	Jumlah
1	Termokopel	K-type Thermocouple	5
2	Data Logger Suhu	USB Temperature Logger	1
3	Termo Jet	Bosch GTC 400C Thermal Camera	1
4	Multimeter Digital	Digital Multimeter	1
5	Timbangan Digital	±0.01 kg precision	1
6	Timer Digital	Stopwatch	1
7	Laptop	Sistem Logging & Analisis	1



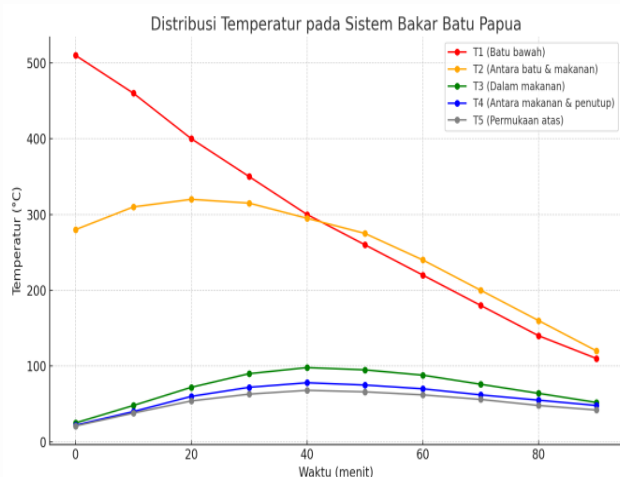
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian.

Tabel 2. Distribusi Temperatur Berdasarkan Titik dan Waktu Pengamatan.

Waktu (menit)	T1 (Batu bawah)	T2 (antara batu & makanan)	T3 (dalam makanan)	T4 (antara makanan & penutup)	T5 (permukaan atas)
0	510	280	25	22	21
10	460	310	48	40	38
20	400	320	72	60	54
30	350	315	90	72	63
40	300	295	98	78	68
50	260	275	95	75	66
60	220	240	88	70	62
70	180	200	76	62	56
80	140	160	64	55	48
90	110	120	52	48	42

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi temperatur diukur pada lima titik berbeda selama 90 menit proses bakar batu. Hasil pengukuran temperatur (dalam °C) disajikan pada Tabel 2. Grafik perubahan temperatur terhadap waktu sebagai berikut



Gambar 3. Grafik Distribusi Temperatur

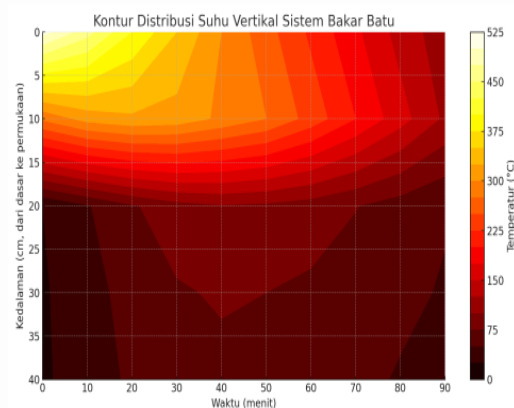
Distribusi suhu memperlihatkan perpindahan panas konduktif yang dominan dari lapisan batu panas ke bahan makanan. Suhu pada batu panas (T1) menurun drastis dari 510 °C menjadi 110 °C dalam 90 menit. Sementara itu, suhu dalam makanan (T3) mengalami kenaikan dari 25 °C menjadi puncaknya di 98 °C pada menit ke-40.

Berdasarkan teori konduksi-transien 1D: bahwa perpindahan panas melalui zat padat dalam satu dimensi di mana suhu di setiap titik berubah terhadap waktu, tidak konstan secara permanen. Fenomena ini mengikuti persamaan konduksi panas Fourier dan dipengaruhi oleh difusivitas termal material, yang menunjukkan seberapa cepat respons termal terjadi terhadap perubahan suhu.

Fenomena ini mencerminkan bahwa aliran panas dari batu ke makanan berlangsung hingga temperatur mendekati kesetimbangan. Nilai maksimum temperatur dalam makanan (sekitar 90–98 °C) menunjukkan bahwa proses pemanasan cukup untuk mencapai tingkat kematangan biologis pada sebagian besar bahan makanan seperti ubi dan daging.

Lapisan penutup (T4 dan T5) menunjukkan suhu yang lebih rendah dan stabil, yang menunjukkan fungsi isolasi dari tanah dan daun yang cukup baik, mengurangi kehilangan panas akibat konveksi ke udara luar.

Suhu antarlapisan menunjukkan bahwa sistem Bakar Batu berfungsi layaknya oven tanah tertutup, dengan distribusi panas yang menyebar dari bawah ke atas secara bertahap. Hasil ini sejalan dengan temuan Chandrakant & Sharma (2020) [2], di mana struktur material dan tumpukan bahan alami berperan penting dalam mempertahankan panas selama proses memasak berlangsung.



Gambar 4. Kontur Distribusi Suhu

Kontur menunjukkan distribusi suhu dalam arah vertikal dari lapisan dasar (batu panas) ke lapisan atas (permukaan tanah) sepanjang waktu pemanasan 90 menit.

Deskripsi Pola Kontur merupakan fase Awal (0–10 menit) dimana temperatur tertinggi (>500 °C) hanya terdapat di dasar (T1). Suhu di atasnya masih rendah (sekitar 25–40 °C), menunjukkan bahwa panas belum merambat jauh ke atas. Gradien suhu sangat curam dari T1 ke T3, mengindikasikan intensitas konduksi yang tinggi di awal. Fase Transien (10–40 menit): di mana panas mulai merambat ke atas secara progresif. T2 dan T3 mengalami peningkatan drastis. Temperatur maksimum di dalam makanan (T3) tercapai sekitar 98 °C pada menit ke-40, menunjukkan bahwa proses pematangan makanan paling efisien terjadi pada fase ini. Lapisan T4 dan T5 juga mengalami kenaikan moderat (60–70 °C), menandakan mulai adanya konveksi internal dan isolasi termal yang berfungsi.

Fase Penurunan (50–90 menit) di mana suhu pada semua lapisan mulai turun secara bertahap, dengan gradien suhu semakin landai. Distribusi suhu menjadi lebih seragam (homogen) di lapisan tengah (T2–T4), mengindikasikan bahwa energi panas telah menyebar hampir merata ke seluruh sistem. T1 menurun drastis karena batu mulai kehilangan panas laten (tinggal ~110 °C di menit ke-90).

KESIMPULAN

Distribusi vertikal temperatur menegaskan bahwa sistem *bakar batu* memiliki mekanisme pemanasan alami yang efektif, mirip dengan prinsip oven tanah tertutup. Kontur eksperimental ini menunjukkan bahwa makanan dapat mencapai suhu matang (>90 °C) tanpa pembakaran langsung, hanya melalui perpindahan panas dari batu ke makanan secara konduktif dan semikonvektif. Sistem pemanasan bakar batu mampu mempertahankan suhu optimal (70–100 °C) dalam makanan selama 40 menit, cukup untuk pematangan biologis. Kontribusi utama berasal

dari panas laten batu vulkanik dan isolasi alami dari daun dan tanah. Efisiensi termal tinggi, dengan suhu makanan mencapai titik maksimum pada 40–50 menit, yang menjadi fase paling efektif dari proses bakar batu.

KONTRIBUSI PENULIS

Kontribusi penulis Samuel P. Siregar meliputi konseptualisasi, metodologi, investigasi, penulisan paper. Johni J. Numberi meliputi mereview, setup peralatan pengujian, investigasi, pemrosesan gambar. Joni meliputi investigasi, pengolahan data

tinjauan, dan penyuntingan. Michael R. Kaiway meliputi penyediaan lokasi, tinjauan dan penyuntingan, supervisi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Cenderawasih atas dukungan berupa Hibah Penelitian sehingga terlaksananya penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budiarti, M., Lestari, H. P., & Ramdhani, M. A. "The exploration of local wisdom on the tradition of stone burning (barapen) in Jayawijaya, Papua, as a physics learning resource," AIP Conference Proceedings, 2014(1), 020032. <https://doi.org/10.1063/1.5054425>
- [2] Jiharudin dan S. Mustofa, "Budaya Bakar Batu Sebagai Wujud Toleransi Masyarakat Papua," *Tsaqofah*, vol. 20, no. 2, pp. 89–100, Des. 2022. doi:10.32678/tsaqofah.v20i2.6772 <https://jurnal.uinbanten.ac.id/index.php/tsaqofah/article/view/6772>
- [3] I. S. Budiarti dan B. Y. Boy, "Analysis of heat transfer rate on Bakar Batu as Papua cultural practice," in *Proc. ICSAS 2021*, AIP Conference Proceedings, 2022, doi:10.1063/5.0072951.
- [4] I. S. Budiarti dan B. Yanwar Boy, "Analysis of heat transfer rate on Bakar Batu as Papua cultural practice," in *Proc. ICSAS 2021*, AIP Conference Proceedings, 2022. doi:10.1063/5.0072951 ([OUCI](#))
- [5] Budiarti, T., Anggraeni, D., and Laka, J., "Studi Pembelajaran Fisika melalui Tradisi Bakar Batu (Barapen) di Papua," in *Proc. AIP Conf.*, vol. 2021, no. 030021, 2018.
- [6] I. S. Budiarti, A. Suparmi, Sarwanto, dan Harjana, "Heat transfer concept on Bakar Batu Papua's culture," *AIP Conference Proceedings*, vol. 2014, no. 1, Art. no. 020133, Sep. 2018. doi:10.1063/1.5054537
- [7] B. Suparno, "Thermal Imaging Analysis on Indigenous Cooking Methods," *Jurnal Energi dan Lingkungan*, vol. 15, no. 2, pp. 115–123, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.25077/jel.15.2.115-123.2020>
- [8] Niauw, A. L., Mofu, C. A., & Siahaya, M. A., "Analisis laju perpindahan panas pada sistem tradisional bakar batu di Papua," *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 8(1), 45–52. 2022, <https://doi.org/10.33394/jpft.v8i1.3789>
- [9] Y. Wambrauw, "Nilai Sosial dan Budaya dalam Tradisi Bakar Batu Masyarakat Pegunungan Tengah Papua," *Jurnal Antropologi Papua*, vol. 8, no. 1, pp. 45–56, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.24843/JAP.2020.v8.i1.p5>
- [10] M. Romainum, "Revitalisasi Budaya Lokal dan Ketahanan Pangan Berbasis Tradisi," *Jurnal Masyarakat Adat Nusantara*, vol. 4, no. 2, pp. 88–97, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.26714/jman.4.2.2022.88-97>
- [11] M. Abdelrahman, A. Elamin, and M. Abdelgadir, "Experimental and Numerical Investigation of Temperature Distribution in Traditional Sudanese Clay Oven," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 13, 2019. DOI: [10.1016/j.csite.2018.11.010](https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.11.010)
- [12] S. Chandrakant and V. Sharma, "Thermal performance evaluation of a traditional mud stove using thermocouples and infrared thermography," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 22, 100766, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100766>
- [13] R. Hermawan and A. Nugroho, "Optimasi Sistem Oven Batu Tradisional untuk Pengeringan Pangan di Wilayah Semi-Arid," *Jurnal Rekayasa dan Teknologi*, vol. 10, no. 1, pp. 50–59, 2022. DOI: [10.31289/jrt.v10i1.4200](https://doi.org/10.31289/jrt.v10i1.4200)