

Perbandingan Penggunaan Model Regresi Linear dan Nonlinear dalam Mendeterminasi Daya Simpan Panas (DSP) Gerabah Pengembangan

SALNUDDIN¹, ADI NOMAN SUSANTO², JEFRY BEMBA³

^{1,3}) Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Khairun, Indonesia

²) Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Khairun, Indonesia

e-mail: salnuddin@unkhair.ac.id

ABSTRAK

Daya simpan panas (DSP) gerabah vorno merupakan suatu kebutuhan untuk meningkatkan produksi sagu lempeng. Metode eksperimen penambahan aluvial pada pembuatan gerabah dengan komposisi tanah liat 40 %, aluvial 25% dan pasir pantai 35% sebagai gerabah pengembangan diharapkan dapat meningkatkan DSP gerabah. Keterbatasan instrumen pengujian DSP secara teknik, membutuhkan solusi secara statistik dalam mendeterminasi DSP. Perbandingan hasil analisis dari pendekatan metode linear dan non linear pada data perubahan suhu lempengan membentuk karakteristik tertentu, olehnya itu dibutuhkan identifikasi analisis statistik yang tepat dalam mendeterminasi DSP dengan akurasi tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan material aluvial pada pembuatan gerabah meningkatkan berat jenis lempengan gerabah. Koefisien determinasi (R^2) dari keseluruhan persamaan metode linear dan non linear memberikan linearity yang tinggi ($R^2 > 75\%$), akurasi tertinggi dengan nilai *mean absolute percent error* (MAPE) $< 10\%$ dijumpai pada tren persamaan kubik dan logaritmik. Pendekatan tren kubik menunjukkan DSP gerabah pengembangan lebih lambat 7% dibandingkan dengan gerabah rujukan, sedangkan penggunaan tren logaritmik lebih lambat 33%. Perlu dilakukan analisis data dengan perhitungan transfer panas untuk membuktikan DSP dengan pendekatan statistik.

Kata Kunci: Aluvial, Kubik, Logaritmik, Sagu Lempeng, Vorno.

ABSTRACT

The heat storage capacity (HSC) of vorno pottery is a necessity to increase the production of sago plates. The experimental method of adding alluvial to pottery making with a composition of 40% clay, 25% alluvial and 35% beach sand as development pottery is expected to increase the DSP of pottery. The limitations of technical DSP testing instruments require a statistical solution in determining DSP. Comparison of analysis results from linear and non-linear method approaches on slab temperature change data forms a specific characteristic, therefore it is necessary to identify the right statistical analysis in determining DSP with high accuracy. . The results show that the use of alluvial materials in pottery making increases the specific gravity of pottery slabs. The coefficient of determination (R^2) of all equations of linear and non-linear methods gave high linearity ($R^2 > 75\%$), the highest accuracy with mean absolute percent error (MAPE) value $< 10\%$ was found in the cubic and logarithmic trend equations. The cubic trend approach showed that the heat retention of the development pottery was 7% slower than the reference pottery, while the use of the logarithmic trend was 33% slower. It is necessary to analyse the data with heat transfer calculations to prove the HSC with a statistical approach.

Keywords: Alluvial, Cubic, Logarithmic, Plate Sago, Vorno.

1. PENDAHULUAN

Daya simpan panas (DSP) gerabah dapat dimaknai sebagai kemampuan gerabah untuk memperlambat pelepasan panas yang diterima dari hasil pembakaran. Penyimpanan panas (*Heat*

storage) menurut Murali et al. (2015) adalah sistem penyimpan panas yang terdiri dari penyimpanan panas yang logis atau *Sensible Heat Storage* (SHS) dan oleh penyimpanan panas laten atau *Latent Heat Storage* (LHS). Sistem SHS mencakup kapasitas panas dan perubahan suhu material akibat pemanasan dan atau pendinginan, dimana suhu material akan naik ketika energi diserap dan turun ketika energi ditarik. Panas laten (LHS) adalah akumulasi mekanisme selama proses perubahan fase. Olehnya itu DSP gerabah adalah sistem LHS menggunakan energi yang diserap atau dilepas selama perubahan fase isotermal (Bejan, 2013). Masyarakat di wilayah Indonesia Timur memanfaatkan panas gerabah untuk memproduksi panganan tradisional “sagu lempeng” (Gambar 1). Gerabah yang digunakan dikenal dengan sebutan “vorno”. Makin lama vorno menyimpan panas, maka makin cepat proses pembuatan sagu lempeng, dimana pencetakan 1 cetakan (5 – 7 lempengan) dibutuhkan waktu rata-rata selama 25 menit. Kondisi tersebut menyebabkan industri rumah tangga (IRT) pembuatan sagu lempeng bekerja kurang efektif karena membutuhkan gerabah vorno yang lebih banyak untuk mencapai target produksi. Upaya peningkatan produk sagu lempeng terus mengalami peningkatan, baik pada riset peningkatan kandungan gizi (Marsaoly & Mahmud, 2020; Sofiati & Sidin, 2020), cita rasa hingga pengemasannya (Sarungallo et al., 2007) sehingga banyak varian sagu lempeng yang dibuat oleh industri rumah tangga (IRT).

Peningkatan produk sagu lempeng tidak seiring dengan peningkatan kapasitas gerabah vorno sebagai alat utama produksi, dan dibutuhkan eksplorasi untuk meningkatkan DSP gerabah (Setyati, 2020). Secara material gerabah vorno yang diproduksi oleh pengrajin gerabah tradisional di Desa Maregam (Pulau Mare) Kota Tidore Kepulauan (Kusrini, 2020), tidak berbeda dengan gerabah lainnya, kecuali pada bentuk jadi dari gerabah, dan semua produk gerabah dibuat dengan komposisi material tanah liat dan pasir pantai dengan kadar masing-masing 50 %. Salah satu upaya eksplorasi material pembuatan gerabah dilakukan dengan memanfaatkan material aluvial hutan mangrove, sebagai material tambahan pembuatan gerabah. Pemanfaatan aluvial didasarkan pada potensi makin terbatasnya keberadaan tanah liat di Pulau Mare sebagai pulau kecil dan keberadaan sumberdaya aluvial yang melimpah, serta material aluvial juga telah dimanfaatkan oleh pengrajin gerabah di Kabupaten Muna (Abigael & Sendana, 2020). Pembuatan gerabah dengan penambahan aluvial, pada penelitian ini disebut sebagai gerabah pengembangan, dimana pembuatannya mengikuti cara kerja pengrajin gerabah di Desa Maregam (Subur et al., 2023).



Gambar 1. Gerabah Vorno, Varian Sagu Lempeng, Gerabah Pengembangan, serta Uji DSP

Produk gerabah pengembangan yang dihasilkan memerlukan serangkaian perlakuan uji, untuk identifikasi karakteristik fisik dari gerabah serta mendeterminasi DSP sebagai material fisik (Salinas, 2013). Perlakuan uji membutuhkan gerabah pembanding (rujukan) untuk penilaian DSP. Keterbatasan instrumen pengujian yang memadai, maka penilaian hanya dapat dilakukan dengan pendekatan statistik. Mempehatikan data utama uji DSP berupa data suhu lempengan dan udara sekitar terhadap waktu, maka prasyarat kelayakan analisis statistik harus terpenuhi, antara lain dimensi gerabah yang sama dan pengulangan pengujian sebelum menerapkan model analisis statistik yang potensial digunakan dalam mendeterminasi DSP gerabah yang dikembangkan dengan pola hubungan auto korelasi.

Karakteristik material pembuatan gerabah pengembangan dan rujukan serta data perubahan suhu terukur dalam interval waktu tertentu menghasilkan tiga hal utama yang dapat mengarahkan model analisis statistik yang potensial digunakan. Pertama, material penyusun gerabah secara kolektif menjadi gerabah dan menghasilkan sifat baru dengan karakter tertentu berbentuk fisik. Karakter tersebut salah satunya adalah berat jenis (BJ) material gerabah. Kedua, perlakuan uji gerabah dengan pembakaran lempengan gerabah sulit untuk menyamakan suhu awal masing-masing sampel sebagai ulangan pengujian, sehingga karakteristik gerabah dan suhu awal pengukuran serta penurunan suhu adalah respon material gerabah pada suhu tertentu. Ketiga; karakteristik gerabah dengan suhu awal serta suhu udara (ruang) dapat dimaknai sebagai mekanisme transfer panas (suhu) baik dari udara ke lempengan gerabah (material padat) maupun sebaliknya atau interaksi keduanya (padat-gas). Gambaran ketiga mekanisme tersebut sebagai asumsi yang mengarahkan pendekatan identifikasi penurunan suhu lempengan berdasarkan waktu (*time series*) diasumsikan terhubung secara auto korelasi, dimana metode analisis statistik yang dapat digunakan yakni metode regresi, baik secara linear maupun nonlinear (Draper & Smith, 1998a). Uraian tersebut senada dengan penelitian Fretes & Meliala (2023), serta Barthelemy (2019) yang menerapkan pendekatan statistik untuk menjawab tujuan penelitiannya. Memperhatikan bahwa DSP adalah persoalan yang kompleks maka tujuan penelitian ini adalah membandingkan hasil analisis statistik dengan penggunaan metode linear dan nonlinear untuk mendeterminasi DSP gerabah.

2. METODE PENELITIAN

Gerabah pengembangan dibuat (eksprimen) dengan mencampurkan material tanah liat, aluvial dan pasir pantai dengan kadar masing-masing 40% : 25% : 35%. Gerabah dicetak sebanyak 5 lempengan sampel sebagai ulangan dengan ukuran panjang, lebar dan tebal berurutan sebesar 10 x 10 x 1 cm. Gerabah rujukan diperoleh dari pembelian gerabah jadi, gerabah tersebut dipotong membentuk ukuran yang sama dengan ukuran gerabah pengembangan serta dibuat sebanyak 5 lempengan. Hasil pencetakan gerabah pengembangan selanjutnya di jemur hingga kering dan dilanjutkan dengan pembakaran. Berat jenis (BJ) material gerabah diketahui dari hasil uji material gerabah dengan menerapkan *Hukum Archimedes* pada potongan sampel masing-masing lempengan. BJ adalah rasio antara berat sampel terhadap volumenya yang diformulasikan:

$$BJ \left(\frac{gr}{ml} \right) = \frac{\text{massa potongan sampel (gr)}}{\text{Volume potongan sampel (ml)}} \quad \dots (1)$$

Uji DSP gerabah dilakukan setelah gerabah diangkat dari pembakaran. Pengukuran suhu menggunakan thermometer logam (Gambar 1) yang diletakkan pada lubang dibagian tengah lempengan. Pembacaan suhu dilakukan tiap interval 2 menit hingga suhu lempengan gerabah kembali pada suhu awal sebelum uji dilakukan (± 20 °C) atau sebagai suhu minimum pengujian. Besarnya batas suhu minimum tersebut didasarkan pada kegiatan pembuatan sagu lempeng, dimana pada suhu tersebut tidak dapat lagi mematangkan tepung sagu, melainkan hanya untuk memanaskan sagu yang telah matang. Bersamaan pembacaan suhu lempengan dibaca pula suhu ruang yang berjarak 50 cm dari titik pengukuran gerabah. Hasil pengukuran suhu diperoleh data yang bervariasi untuk tiap lempengan berupa data suhu awal dan durasi penurunan suhu hingga mencapai suhu sebelum uji dilakukan. Data tersebut selanjutnya dilakukan perhitungan untuk identifikasi karakter perubahan suhu lempengan secara umum berupa nilai kecepatan penurunan suhu lempengan (KPSL) dan perubahan suhu ($-\Delta t$). Nilai KPSL dan $-\Delta t$ sering juga disebut sebagai kecepatan perubahan suhu atau *heating rate* (Wijayanti, 2019) dan $-\Delta t$ sebagai nilai gradien penurunan suhu. Kedua nilai tersebut merupakan bagian dari analisis termal yakni pengukuran sifat fisik dan kimia material terhadap pengaruh temperatur (Moon *et al.*, 2014), secara sederhana gambaran umum perubahan suhu dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$KPSL \text{ (}^\circ\text{C/menit)} = \frac{t_m \text{ }^\circ\text{C}}{N \times 2 \text{ menit}} \quad \dots (2)$$

$$-\Delta t \text{ (}^\circ\text{C/menit)} = \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{t_n - t_{n+1}}{2 \text{ menit}} \quad \dots (3)$$

dengan KPSL = kecepatan perubahan suhu lempengan; t_m = Suhu awal (maksimum); t_n = suhu saat n ; t_{n+1} = suhu saat $n + 1$ (setelah n), N = durasi pengukuran atau banyaknya pengukuran saat uji DSP gerabah hingga mencapai suhu sebelum pembakaran ($\approx 20^\circ\text{C}$).

Data suhu terukur tiap lempengan maupun rata-ratanya serta nilai perhitungan penurunan suhu ($-\Delta t$) akan membentuk pola sebaran (*scatter*) terhadap waktu pengukuran. Pola sebaran dapat dibentuk kecenderungan garis (*trendline*) dengan bantuan *MS.Excel*. Tren garis merupakan gambaran gerak data berdasarkan deret waktu (variabel pada sumbu x) selama jangka waktu yang panjang atau cukup lama dan berkecenderungan menuju satu arah, baik menaik (positif) atau menurun (negatif). Tren hubungan atau regresi yang dilakukan dalam penelitian ini dikelompokkan dalam dua model yakni model linear dan model nonlinear. Kedua model akan memberikan nilai koefisien determinasi (R^2), nilai koefisien intercept (" a ") dan nilai koefisien regresi (b , c dan d), dimana nilai R^2 optimal ($R^2 > 0.75$) digunakan untuk mendeteksi *linearity* dari tren persamaan yang dihasilkan untuk mendapatkan model persamaan yang terbaik digunakan (Draper & Smith, 1998b). Perbandingan model regresi linear yang digunakan yakni tren kuadratik dan tren kubik, sedangkan untuk pendekatan model nonlinear menggunakan tren eksponensial dan tren logaritmik. Bentuk persamaan masing-masing tren sebagai berikut:

Metode Linear:

- Tren Kuadratik : $Y = a \pm bX \pm cX^2$
- Tren Kubik : $Y = a \pm bX \pm cX^2 \pm dX^3$

dengan Y = nilai trend yang ditaksir/nilai ramalan; X = waktu/periode; a , b , c dan d = nilai konstanta.

Metode Model nonlinear :

- Tren Eksponensial $Y = ab^t$
- Tren Logaritmik $Y = a \pm b(\ln x)$

dengan Y adalah nilai *tren* yang ditaksir/nilai ramalan ; X adalah waktu/periode sebagai variabel bebas (independen); \ln adalah logaritma natural; a dan b merupakan nilai konstanta.

Model masing-masing diselesaikan dengan menggunakan aplikasi *MS. Excel*. Akurasi tren persamaan yang dihasilkan ditentukan dengan nilai *mean absolute percent error (MAPE)*, dimana nilai MAPE < 10 % dalam kategori akurasi tinggi; MAPE bernilai 10 – 20 % dalam kategori akurasi yang baik; MAPE bernilai 20 – 50% dalam kategori logis dan nilai MAPE > 50 % dalam kategori tidak akurasi. secara matematis MAPE diformulasikan sebagai berikut (Moreno et al., 2013):

$$MAPE = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^{t=n} \frac{Y_m - Y_t}{Y_t} \right] \times 100 \% \quad \dots (4)$$

dengan t adalah waktu/periode; Y_m adalah nilai suhu dari model persamaan pada periode ke- t ; Y_t adalah nilai deret pengukuran suhu pada periode ke- t ; n adalah banyaknya data pengukuran.

DSP diketahui dari nilai koefisien regresi (b) yang dihasilkan, makin kecil nilai koefisien " b " maka makin lambat penurunan suhu lempengan dan juga menunjukkan makin besar DSP gerabah. Secara keseluruhan analisis data dilakukan secara terpisah yaitu berdasarkan suhu lempengan. Adapun langkah-langkahnya adalah:

1. Analisis statistika deskriptif dari data pengukuran suhu dan karakteristik material gerabah.
2. Membuat perhitungan nilai KPSL dan perubahan suhu ($-\Delta t$) untuk menggambarkan perubahan suhu secara umum beserta nilai rata-rata dan standar deviasinya.
3. Deteksi *linearity* dari Model persamaan; yaitu mendeteksi hubungan antara variabel bebas X (waktu) dan variabel terikat Y (suhu lempengan gerabah) yang membentuk hubungan linear (positif atau negatif) yang signifikan dari sebaran data (*scatter*), hubungan dibangun dengan asumsi auto korelasi yakni hubungan variabel dari fungsi waktu (time series) dan tidak ada data *cross sectional* data (Draper & Smith, 1998b).

Kondisi tersebut deteksi *linearity* dapat dilakukan dengan menggunakan nilai koefisien determinasi (R^2) sebagaimana uraian Saputra *et al.* (2024).

4. Identifikasi akurasi model yaitu dengan perhitungan nilai MAPE serta penetapan model regresi
5. Pemaknaan DSP; dilakukan dengan memaknai nilai koefisien regresi dari model terbaik yang sudah ditentukan sebelumnya.
6. Kesimpulan; menarik kesimpulan berdasarkan pemaknaan yang telah dilakukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Material dan Uji Daya Simpan Panas Gerabah

Gerabah pengembangan dengan penambahan aluvial hutan mangrove sebanyak 25% menghasilkan berat jenis (BJ) rata-rata yang lebih besar ($1,06 \pm 0,13$ gr/ml) dibandingkan dengan gerabah rujukan sebesar $0,37 \pm 0,06$ gr/ml (Tabel 1). Nilai BJ tersebut menjelaskan bahwa penambahan aluvial membentuk ikatan kimia baru antar material gerabah, dimana unsur pada aluvial ($> 1\%$) adalah unsur Si, AL, Fe, Cl, Na dan Mg serta C dan N (Suhendar *et al.*, 2019) termasuk juga adanya kandungan organik berupa unsur C organik (Kusumaningtyas *et al.*, 2019). Kandungan tersebut sangat berpotensi membentuk ikatan kimia $CaCO_3$ (Intan, 2003) dan kemungkinan reaksi-reaksi katalisis di dalamnya (Suhendar *et al.*, 2019), sehingga gerabah pengembangan lebih berat dibandingkan dengan gerabah rujukan. Deviasi nilai BJ kedua kelompok gerabah menunjukkan bahwa gerabah rujukan mempunyai BJ yang lebih merata untuk keseluruhan sampel uji dibandingkan dengan gerabah pengembangan, yang berarti pula bahwa proses pencampuran material penyusun gerabah rujukan lebih merata tersebar di seluruh ruang lempengan.

Tabel 1. Nilai BJ, Suhu Awal Pengujian, dan Durasi Penurunan Suhu Lempengan Gerabah

Kelompok Gerabah	LG	BJ (gr/ml)	Uji Daya Simpan Panas								KPSL (°C/mnt)	-Dt (°C/menit)		
			Suhu Lempengan (°C)				Suhu Ruang (°C)							
			N	SA	Rata	Dev	Max	Min	Rata	Dev		°C/mnt	Maks	Rata
Gerabah pengembangan	LP 1	1.25	18	210	88.3	54	23	22	22.1	0.23	5.28	15	5.6	5.0
	LP 2	1.06	11	120	64.5	26	24	22	22.4	0.77	4.55	15	4.5	5.0
	LP 3	1.08	12	110	60	28	24	22	22.4	0.77	3.75	10	4.1	3.0
	LP 4	0.88	14	150	70	43	30	22	25.7	3.01	4.64	15	5.4	4.1
	LP 5	1.1	10	110	64	28	30	22	25.7	3.01	4.5	10	4.4	3.2
	Rata-rata	1.06	13	150	84.1	57	26.2	22	23.66	1.56	4.54	17.5	5.8	4.4
	Deviasi	0.13	3.16	42.43	11.7	14	3.49	0.00	1.87	1.34	0.54	3.1	0.7	0.8
Gerabah Rujukan	LR 1	0.3	17	170	79.7	42	34	28	29.39	1.85	4.41	10	4.7	3.8
	LR 2	0.39	19	230	85.8	58	34	28	29.39	1.85	5.53	20	5.8	5.6
	LR 3	0.43	22	250	103	64	32	26	28.38	1.64	5.23	15	6	4.5
	LR 4	0.41	24	300	121	81	32	25	28.24	1.74	5.83	15	6.3	4.4
	LR 5	0.3	24	310	123	83	30	23	26.88	2.05	6.04	15	6.2	4.8
	Rata-rata	0.37	21.2	252	120	88	32.40	26.00	28.46	1.83	5.41	15	6.0	4.3
	Deviasi	0.06	3.11	56.75	19	18	1.67	2.12	1.04	0.15	0.64	3.16	0.6	0.63

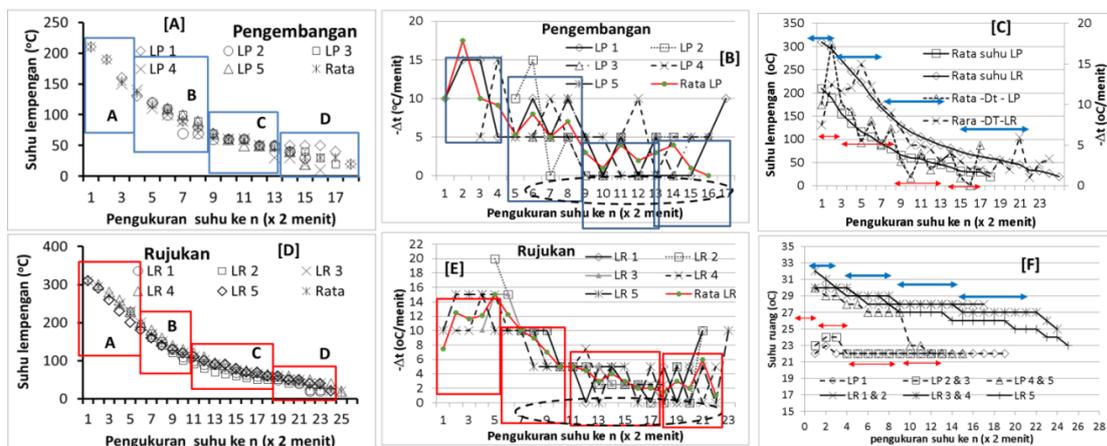
Keterangan: LG = lempengan gerabah; LP = Lempengan pengembangan; LR = lempengan rujukan; 1, 2, 3, 4 dan 5 = lempengan gerabah ke n (ulangan); BJ = Berat Jenis; N = durasi x 2 menit atau banyaknya pengukuran suhu lempengan yang dilakukan; SA = suhu awal pengukuran; Maks = nilai maksimum; Dev = Nilai Deviasi

3.2 Variasi Penurunan Suhu Lempengan Gerabah

Uji DSP gerabah melalui pengukuran penurunan suhu lempengan setelah pembakaran, Hasil uji diperoleh nilai suhu awal pengukuran yang bervariasi di tiap lempengan sampel gerabah, variasi juga terjadi pada durasi penurunan suhu hingga mencapai suhu minimum pengujian (20°C). Suhu awal pengukuran pada pada sampel gerabah rujukan memperlihatkan suhu awal yang lebih tinggi, berkisar $170 - 310^\circ\text{C}$ dengan durasi waktu untuk kembali pada kondisi suhu awal sebelum uji, dapat berlangsung selama 24×2 menit (48 menit) sejak pengukuran suhu lempengan dilakukan. Durasi penurunan suhu untuk gerabah pengembangan kembali ke suhu minimum pengujian memerlukan waktu selama 18×2 menit (36 menit). Gambaran umum DSP gerabah dapat diperlihatkan pada nilai kecepatan penurunan suhu lempengan (KPSL), dimana gerabah pengembangan mempunyai nilai yang lebih kecil, dengan nilai rata-rata $4,61 \pm 0,58$

$^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dibandingkan dengan gerabah rujukan $5,41 \pm 0,64 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ (Tabel 1). Nilai KPSL tersebut menjelaskan bahwa secara umum gerabah pengembangan lebih lambat mengalami penurunan suhu dibandingkan dengan gerabah rujukan, atau juga menunjukkan bahwa suhu awal yang tinggi tidak diikuti dengan nilai KPSL yang lebih kecil. Beda nilai KPSL antara kedua kelompok gerabah memperlihatkan bahwa adanya karakteristik tertentu dari material penyusun gerabah terhadap nilai kecepatan penurunan suhu lempengan.

Kecepatan penurunan suhu lempengan (KPSL) gerabah yang dihasilkan oleh kedua kelompok gerabah menunjukkan nilai selisih rata-rata yang relatif kecil ($0,86 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$), namun perbedaan yang kecil tersebut juga ditunjukkan pada nilai selisih gradien perubahan suhu ($-\Delta t$) yang juga kecil ($0,68 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$). Kondisi tersebut menjelaskan bahwa terdapat karakter spesifik pada kedua kelompok gerabah dalam menyimpan panas. Rata-rata perubahan suhu ($-\Delta t$) pada gerabah pengembangan jauh lebih kecil ($2,39 \pm 0,38 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$) dibandingkan dengan gerabah rujukan ($3,07 \pm 0,44 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$). Deviasi nilai perubahan suhu rata-rata dari kedua kelompok gerabah memberikan informasi bahwa perubahan suhu ($-\Delta t$) pada gerabah pengembangan lebih merata di setiap sampel lempengan dibandingkan pada gerabah rujukan.



Catatan: Rata adalah nilai suhu rata-rata dari kelima sampel gerabah, disusun berdasarkan suhu awal yang bersesuaian (suhu relatif berdekatan atau sama).

Gambar 2. Sebaran Suhu Lempengan dan Perubahan Suhu Saat Uji Daya Simpan Panas Gerabah

Sebaran suhu lempengan gerabah (Gambar 2A dan 2D) memperlihatkan pola penurunan suhu yang spesifik, dimana terdapat pola graduasi suhu pada gerabah rujukan dengan suhu awal pengukuran yang tinggi membentuk 4 pola penurunan suhu; *pertama* (kotak A) yaitu penurunan suhu yang besar pada kurun waktu tertentu (slope curam), dimana pola tersebut dimulai pada awal pengukuran hingga pengukuran ke 6. Pola penurunan suhu *kedua* (kotak B) ditunjukkan dengan variasi penurunan suhu yang kecil dan berlangsung cukup lama (10 menit), karakter *ketiga* (kotak C) terjadi penurunan suhu yang lambat (slope lebih landai) dan cukup lama (14 menit), karakter *keempat* dengan Pola D (kotak D) memperlihatkan penurunan suhu sangat fluktuatif yang terjadi diakhir pengukuran yang berlangsung selama 8 menit sebelum pengukuran lempengan gerabah mencapai suhu $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Pola penurunan tersebut juga ditunjukkan pada suhu udara ruang uji yang mengalami penurunan seiring perubahan suhu lempengan gerabah (Gambar 2 F), kondisi tersebut menjelaskan bahwa terjadi konveksi termal pada suhu ruang. Suhu ruang saat uji DSP gerabah pengembangan yang dilakukan pada malam hari tercatat sebesar 22°C , dimana pada awal pengukuran suhu ruang mencapai suhu 24°C dan secara berangsur menurun hingga menit ke 10 suhu dan setelahnya suhu ruang menjadi normal (23°C). Hal yang berbeda ditunjukkan saat uji gerabah rujukan yang dilakukan pada sore hingga malam hari dengan suhu ruang berkisar $23 - 27 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Suhu ruang mengalami penurunan secara bertahap untuk suhu tertentu pada menit ke 12 - 16, dilanjutkan pada menit 18 - 26 dan berakhir pada menit ke 48 dengan suhu ruang 23°C .

Pola penurunan suhu dari keempat pola pada gerabah diperlihatkan variasi nilai $-\Delta t$ (Gambar 2B dan 2E), penurunan suhu permenit berkisar $0 - 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$, dimana tidak terjadinya perubahan suhu ($-\Delta t = 0^{\circ}\text{C}$) terjadi setelah pengukuran suhu ke 7 (14 menit) saat suhu lempengan berkisar $30 - 100^{\circ}\text{C}$. dan mampu bertahan hingga 4 menit kemudian (lingkaran hitam). Suhu lempengan

dengan $-\Delta t = 0^{\circ}\text{C}$ menunjukkan pada suhu tertentu dari gerabah penurunan suhu makin stabil untuk rentang waktu 4 menit. Fluktuasi perubahan suhu rata-rata sampel (Gambar 2C dan 2F) menunjukkan graduasi suhu tertentu pada pola penurunan suhu, fluktuasi membentuk 4 pola sebagaimana uraian sebelumnya. Pola spesifik diperhatikan pada bagian akhir pengukuran, dimana rata-rata 8 menit sebelum akhir pengukuran membentuk penurunan suhu yang lebih besar (naik) dibandingkan penurunan suhu pada waktu sebelumnya dengan rata-rata penurunan suhu $2^{\circ}\text{C}/\text{menit}$.

3.3 Pola Penurunan Suhu Lempengan Gerabah dan Tren Model Persamaan Regresi

Pola sebaran suhu lempengan dengan variabel independen (X) adalah waktu terhadap variabel dependent (Y) adalah suhu lempengan memperlihatkan sebaran suhu terpusat dengan membentuk pola hubungan linear negatif (Gambar 2A dan 2D). Kondisi tersebut menunjukkan asumsi auto korelasi terbentuk sehingga linearity hubungan antar variabel X dan Y dan tanpa data pencilan, dapat ditunjukkan pada nilai koefisien determinasi (R^2) dari persamaan tren regresi masing-masing. Sebaran suhu uji DSP gerabah memperlihatkan pola penurunan suhu dengan karakter tertentu (Gambar 2A dan 2D), dimana pola tersebut menyerupai pola termodinamika. Pola dengan graduasi penurunan suhu tertentu pada lempengan gerabah menggambarkan adanya fungsi aliran konveksi antara lempengan gerabah dengan lingkungan sekitar. Berdasarkan nilai $-\Delta t$ rata-rata (Tabel 1) pada gerabah rujukan mempunyai nilai sebesar $3,07 \pm 0,44^{\circ}\text{C}/\text{menit}$, sedangkan pada gerabah pengembangan sebesar $2.39 \pm 0,33^{\circ}\text{C}/\text{menit}$, atau 22 % lebih lambat penurunan suhu pada gerabah pengembangan dibandingkan gerabah rujukan. Secara grafis tren penurunan suhu pada lempengan gerabah pengembangan membentuk slope yang lebih curam dibandingkan pada gerabah rujukan, namun secara angka (Tabel 1) penurunan suhu pada lempengan rujukan lebih besar. Variasi penurunan suhu terhadap nilai suhu awal pengukuran, dari gerabah rujukan memperlihatkan bahwa penurunan suhu sebesar $10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ hingga menjadi $5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dapat berlangsung selama 26 menit (13 x pengukuran), sedangkan pada gerabah pengembangan mampu bertahan selama 22 menit. Pola sebaran suhu (Gambar 2A dan 2D) memberikan potensi proyeksi garis dengan model tertentu, baik secara linear maupun nonlinear. Hasil penerapan aplikasi *MS Excel* untuk *trendline* kuadratik, kubik yang mewakili model linear dan *trenline* eksponensial dan logaritmik yang mewakili model nonlinear (Tabel 2).

Tabel 2. Nilai Penyusun Persamaan Regresi Hasil Uji DSP Gerabah

G	L	N	METODE LINEAR					METODE NONLINEAR									
			TREN KUADRATIK			TREN KUBIK		EKSPONENSIAL			LOGARITMIK						
			a	b(X1)	c(X ²)	R ²	a	b(X1)	c(X ²)	d(X ³)	R ²	a	bx	R ²	a	b ln x	R ²
Pengembangan	LP 1	18	224.83	-23.56	0.745	0.968	250.28	-37.748	2.563	-0.064	0.991	211.23	-0.110	0.935	223.39	-66.79	0.978
	LP 2	11	124.91	-15.15	0.664	0.907	155.45	-40.385	5.700	-0.280	0.979	117.75	-0.112	0.914	118.35	-33.81	0.951
	LP 3	12	121.36	-12.81	0.405	0.974	133.74	-22.376	2.173	-0.091	0.980	130.11	-0.136	0.953	120.18	-36.13	0.954
	LP 4	14	163.35	-16.76	0.446	0.977	179.89	-28.088	2.271	-0.081	0.986	209.02	-0.176	0.915	167.92	-54.42	0.953
	LP 5	10	124	-14.09	0.455	0.957	137.33	-25.917	3.019	-0.155	0.967	136.98	-0.157	0.893	120.25	-37.24	0.926
	Rata	18	224.92	-23.58	0.710	0.989	244.38	-34.429	2.100	-0.049	0.998	229.22	-0.128	0.991	226.89	-70.59	0.988
Rujukan	LR 1	17	171.84	-14.13	0.334	0.968	196.47	-28.532	2.278	-0.072	0.993	193.78	-0.116	0.919	182.9	-52.36	0.967
	LR 2	19	230.67	-23.74	0.711	0.965	267.59	-43.412	3.109	-0.080	0.998	225.51	-0.118	0.954	233.81	-71.49	0.991
	LR 3	21	259.53	-22.59	0.582	0.978	290.5	-37.746	2.265	-0.051	0.997	260.53	-0.101	0.961	272.01	-78.28	0.986
	LR 4	24	318.56	-25.06	0.567	0.988	345.12	-36.64	1.702	-0.030	0.997	329.29	-0.098	0.972	342.07	-96.83	0.976
	LR 5	24	323.36	-25.45	0.577	0.984	356.16	-39.755	1.978	-0.037	0.998	334.85	-0.098	0.971	348.16	-98.67	0.982
	Rata	25	335.89	-26.59	0.586	0.989	360.92	-37.121	1.580	-0.026	0.996	358.89	-0.106	0.988	362.15	-104.4	0.969

Keterangan: G = Gerabah; L = Sampel gerabah; N = banyaknya data pengukuran suhu; LP = lempengan gerabah pengembangan; LR = Lempengan gerabah rujukan 1, 2, 3, 4 dan 5= sampel lempengan gerabah ke n (ulangan); a = intersept; b, c dan d koefisien regresi, R² = Koefisien determinasi; X = variabe bebas (independent).

Hasil penerapan *trendline* untuk sebaran data yang disajikan pada Gambar 2A dan 2D, memperlihatkan bahwa pendekatan regresi linear dan nonlinear memperlihatkan nilai koefisien determinasi yang baik ($R^2 > 75\%$), yang berarti bahwa $> 75\%$ data pengukuran membentuk pola persamaan garis masing-masing lempengan sampel uji. Nilai koefisien determinasi $> 75\%$ tersebut juga menjelaskan bahwa ke empat tren regresi yang digunakan mempunyai linearity yang tinggi. Memperhatikan nilai koefisien korelasi (a , b , c dan d) yang dihasilkan menunjukkan bahwa gerabah pengembangan mempunyai nilai yang lebih kecil dibandingkan gerabah rujukan, kondisi tersebut memberi makna gerabah pengembangan dengan penambahan material aluvial hutan mangrove dapat menahan penurunan suhu lempengan, atau DSP gerabah pengembangan lebih tinggi dibandingkan pada gerabah rujukan.

3.4 Akurasi Model Regresi dan Penetapan Model

Model regresi linear dan non linear memberikan nilai *linearity* yang tinggi ($R^2 > 75\%$), namun persamaan yang dihasilkan tersebut perlu uji akurasi dengan menggunakan nilai MAPE. Hasil uji untuk kedua model regresi berada dalam katagori akurasi tinggi hingga tidak akurat (Tabel 3). Seluruh sampel dengan persamaan model linear pada tren kubik dari kedua kelompok gerabah (rujukan dan pengembangan) mempunyai akurasi yang tinggi dengan MAPE $< 10\%$ (*bold*), sedangkan tren kuadratik termasuk dalam katagori akurasi yang baik (MAPE 10 – 20 %), kecuali pada sampel ke 3 pada tren kuadratik gerabah pengembangan (MAPE $> 10\%$). Akurasi dari model nonlinear secara umum memberikan informasi yang sama dengan pendekatan model linear, dimana nilai MAPE tren logaritmik untuk keseluruhan sampel gerabah dalam katagori akurasi tinggi, sedangkan pada tren eksponensial nilai MAPE yang dihasilkan dalam katagori akurat dan akurat tinggi. Nilai MAPE untuk data rata-rata tiap sampel semuanya mempunyai nilai MAPE $< 10\%$ untuk semua tren yang digunakan, kecuali pada gerabah rujukan tren kuadratik.

Tabel 3. Nilai MAPE (%) dari Model Analisis Regresi yang Digunakan

Metode	Gerabah	Tren garis	Sampel gerabah						Range Nilai MAPE		
			1	2	3	4	5	Rata	Maks	Min	Rata
Linear	Pengembangan	Kuadratik	13.34	10.85	7.86	12.43	11.59	8.62	13.34	7.86	10.78
		Kubik	7.47	4.55	5.08	7.06	8.75	3.53	8.75	3.53	6.07
		N Data suhu terukur	18	11	12	14	10	18			
	Rujukan	Kuadratik	12.30	18.20	12.29	11.55	12.70	12.80	18.20	11.55	13.31
		Kubik	6.58	5.13	4.04	4.05	4.01	3.94	6.58	3.94	4.63
		N Data suhu terukur	17	19	21	24	24	24			
Nonlinear	Pengembangan	Eksponensial	12.18	9.54	7.79	15.57	9.72	4.93	15.57	4.93	9.96
		Logaritmik	6.49	7.74	8.59	4.67	1.85	3.10	8.59	1.85	5.41
		N Data suhu terukur	18	11	12	14	10	18			
	Rujukan	Eksponensial	13.07	11.02	8.77	7.31	7.80	6.11	13.07	6.11	9.01
		Logaritmik	6.20	8.78	5.37	6.62	5.90	7.68	8.78	5.37	6.76
		N Data suhu terukur	17	19	21	24	24	24			

Hasil perhitungan nilai MAPE memberikan nilai dominan $< 10\%$, yang berarti model persamaan yang dihasilkan dapat digunakan dalam proyeksi DSP gerabah. Berdasarkan range nilai MAPE yang dihasilkan (Tabel 3) serta range nilai MAPE tiap sampel gerabah yang memberikan akurasi tinggi, maka model persamaan yang ditetapkan dalam mendeterminasi DSP gerabah adalah tren kubik dan logaritmik untuk kedua kelompok sampel gerabah. Menggunakan nilai rata-rata sampel, maka bentuk persamaan yang dihasilkan untuk tren kubik pada gerabah pengembangan (Y_p) adalah $Y_p = 244.38 - 34.429X^1 + 2.100X^2 - 0.049 X^3$, sedangkan untuk gerabah rujukan (Y_r) adalah $Y_r = 360.92 - 37.121X^1 + 1.580 X^2 - 0.026X^3$. Bentuk persamaan tren logaritmik pada gerabah pengembangan adalah $Y_p = 226.89 - 70.59\ln(X)$, sedangkan untuk gerabah rujukan adalah $Y_r = 362.15 - 104.4\ln(X)$. Nilai koefisien intersept “koefisien a” dari masing-masing persamaan yang dihasilkan saat $X = 0$ °C menunjukkan bahwa pada lempengan rujukan membutuhkan suhu awal lempengan yang lebih tinggi dibandingkan dengan gerabah pengembangan.

3.5 Pembahasan

Hasil penetapan persamaan yang menghasilkan nilai akurasi tinggi ditunjukkan pada tren kubik dan logaritmik untuk kedua kelompok gerabah. Bentuk persamaan tren kubik, dengan variabel bebas terdiri dari 3 komponen (X^1 , X^2 dan X^3) pada prinsipnya merupakan rangkaian persamaan linear dengan formulasi fourier fungsi sinus, sedangkan bentuk persamaan logaritmik merupakan pola persamaan dengan bentuk linear dengan variabel independen “X” dibangung dengan fungsi logaritma natural (\ln). Fungsi persamaan yang dihasilkan tersebut menggambarkan bahwa penurunan suhu gerabah adalah graduasi secara bertahap dari pelepasan panas atau sebagai fungsi konveksi bebas dan tidak terkontrol (Chen *et al.*, 2009; Ma'sum *et al.*, 2012), yang sangat tergantung pada material media dan kondisi lingkungan sekitar. Besarnya nilai koefisien regresi tiap variabel dari persamaan adalah parameter yang mempengaruhi penurunan suhu gerabah yang terdiri dari 3 variabel pada pendekatan tren kubik dan 1 variabel untuk pendekatan tren logaritmik. Nilai koefisien regresi pada persamaan dengan deret fourier akan memberikan nilai yang makin kecil seiring penambahan/peningkatan orde persamaan untuk variabel X^2 dan X^3 , sedangkan pada persamaan logaritmik akan memberikan nilai komulatif komponen variabel X sebagai fungsi logaritma natural. Secara teoritis transfer panas (konveksi) adalah adalah suatu sistem yang kompleks (Bejan, 2013), baik untuk penyimpanan panas dengan sistem SHS maupun LHS (Murali *et al.*, 2015), sehingga mekanisme

perubahan suhu lempengan gerabah belum diketahui secara pasti dan membutuhkan uji teknis dengan menggunakan alat uji atau alat ukur yang lebih memadai.

Berdasarkan nilai koefisien regresi, maka dapat dilakukan perbandingan antara koefisien pada gerabah pengembangan dan gerabah rujukan, untuk nilai rata-rata sampel dengan tren akurasi tinggi dari nilai MAPE yakni tren kubik dan logaritmik. Nilai koefisien regresi (b) pada gerabah pengembangan mempunyai nilai yang lebih kecil (-34.429) dibandingkan dengan gerabah rujukan (-37.121). Nilai tersebut memperlihatkan bahwa penurunan suhu gerabah pengembangan lebih lambat 7%, sehingga DSP gerabah pengembangan lebih baik. Kondisi yang sama juga diperlihatkan pada perbandingan nilai koefisien regresi pada tren logaritmik, dimana pada gerabah pengembangan nilai koefisien " b " yang dihasilkan sebesar -70.59, sedangkan pada gerabah rujukan sebesar -104.4, atau gerabah pengembangan dapat menyimpan panas lebih baik sebesar 33%. Perbedaan nilai persentase untuk kedua pendekatan tren regresi tersebut disebabkan pada bentuk persamaan kedua tren regresi, dimana pada tren kubik dengan formulasi deret fourier, maka hanya menggunakan nilai koefisien regresi b (orde awal), sedangkan koefisien lainnya memberi kontribusi yang makin kecil untuk orde tinggi dan dapat diabaikan. Tren logaritmik, koefisien b yang dihasilkan adalah akumulasi nilai dengan fungsi logaritma natural. Persentase DSP gerabah tersebut juga ditunjukkan pada nilai penurunan suhu ($-\Delta t$) antara kedua kelompok lempengan gerabah. Gerabah rujukan dengan suhu awal > 200 °C, penurunan suhu dapat mencapai 20 °C/menit atau rata-rata penurunan suhu sebesar 6°C/menit, yang lebih cepat dibandingkan dengan gerabah pengembangan dengan penurunan suhu rata-rata hanya sebesar 5°C/menit selama durasi pengukuran. Fluktuasi penurunan suhu masing-masing lempengan gerabah yang berbeda berdasarkan nilai deviasi $-\Delta t$ tiap gerabah, maka penurunan suhu minimum menunjukkan bahwa gerabah pengembangan lebih lambat 33% untuk menurunkan suhu sebesar 1°C/ment. Fluktuasi suhu tersebut menggambarkan perubahan fasa penurunan suhu material padat dari gerabah dengan lingkungan sebagai konveksi panas.

4. SIMPULAN DAN SARAN

Penambahan material aluvial hutan mangrove pada lempengan gerabah dengan komposisi material tanah liat, aluvial dan pasir pantai dengan kadar masing-masing 40% : 25% : 35% meningkatkan berat jenis lempengan gerabah. Nilai koefisien determinasi (R^2) dari keseluruhan persamaan metode linear dan nonlinear memberikan linearity yang tinggi ($R^2 > 75\%$), akurasi tinggi dengan nilai MAPE $< 10\%$ dijumpai pada tren persamaan kubik dan logaritmik. Pendekatan tren kubik menunjukkan DSP gerabah pengembangan lebih lambat 7% dibandingkan dengan gerabah rujukan, sedangkan dengan penggunaan tren logaritmik DSP gerabah pengembangan lebih lambat 33%. Perlu dilakukan analisis data melalui perhitungan transfer panas untuk membuktikan DSP hasil analisis dengan pendekatan statistik.

UCAPAN TERIMA KASIH.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kelompok Mahasiswa yang tergabung dalam Marine instrumentations and Acoustik (MIC) Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Unkhair, yang telah membuat alat pengolahan material, serta mencari dan mengumpulkan material pembuatan gerabah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abigael; Y, Sendana;. 2020. Tradisi Pembuatan Tembikar Di Desa Lakarinta, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Arkeolog*; Papua. 12(1):75-79.doi:https://doi.org/10.24832/papua.v12i1.229.
- Barthelemy M. 2019. *The Statistical Physics of Cities*. *Nature Reviews Physics*. 1(6):406-415.doi:https://doi.org/10.1038/s42254-019-0054-2.
- Bejan A. 2013. *Convection Heat Transfer. Fourth Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Chen; Q, Wang; M, Pan; N, Guo; Z-Y. 2009. *Optimization Principles for Convective Heat Transfer*. *Energy*. 34((2009)):1199-1206.doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.04.034
- Draper NR, Smith H. 1998a. *Applied Regression Analysis*. John Wiley & Sons.
- Draper NR, Smith H. 1998b. *Selecting The "Best" Regression Equation*. *Applied Regression Analysis*.327-368.doi: https://doi.org/10.1002/9781118625590.ch15.

- Frete; PND, Meliala; W. 2023. Analisis Pertumbuhan Penduduk Kabupaten Kepulauan Yapen dan Penentuan Metode Penaksiran yang Relevan. *Journal on Education*. 5(2):4708-4730. <https://jonedu.org/index.php/joe/article/view/1203>
- Intan FS. 2003. Analisis Teknologi Laboratoris Gerabah Dari Situs Leran. *Berkala Arkeologi*. 23(1):75-87.doi:<https://doi.org/10.30883/jba.v23i1.862>.
- Kusrini K. 2020. Karakteristik Lokal Pengrajin Gerabah Terhadap Kualitas Produk Gerabah Desa Maregam Kota Tidore Kepulauan. *UNM Geographic Journal*. 3(1):(p 72-78).doi:<https://doi.org/10.26858/ugj.v3i1.14602>.
- Kusumaningtyas MA, Hutahaean AA, Fischer HW, Pérez-Mayo M, Ransby D, Jennerjahn TC. 2019. *Variability in the Organic Carbon Stocks, Sources, and Accumulation Rates of Indonesian Mangrove Ecosystems*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 218:310-323.doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.12.007>.
- Ma'sum; Z, Arsana; M, Malik; F, Priyono; W, Altway; A. 2012. Analisis Perpindahan Panas Dengan Konveksi Bebas dan Radiasi Pada Penukar Panas Jenis Pipa dan Kawat. *Jurnal Teknik Kimia*. 7(1):1 - 7. doi:<http://ejournal.upnjatim.ac.id/index.php/tekkim/article/view/444>.
- Marsaoly M, Mahmud M. 2020. Pembuatan Sagu Lempeng Dengan Substitusi Tepung Tulang Ikan Tuna (*Thunnus albacores*). *Global Health Science*. 5(1):28-33.doi:<http://dx.doi.org/10.33846/ghs5107>.
- Moon S-W, Yun H-S, Kim W-S, Na J-H, Kim C-Y, Seo Y-S. 2014. *Correlation Analysis between Weight Ratio and Shear Strength of Fault Materials Using Multiple Regression Analysis*. *The Journal of Engineering Geology*. 24(3):397-409.doi:<https://doi.org/10.9720/kseg.2014.3.397>.
- Moreno JJM, Pol AP, Abad AS, Blasco BC. 2013. *Using The R-Mape Index As A Resistant Measure of Forecast Accuracy*. *Psicothema*. 25(4):(p 500-506).doi:<https://doi.org/10.7334/psicothema2013.23>.
- Murali; G, ; KM, Ali BM. 2015. *A Review of Latent Heat Thermal Energy Storage Systems*. *Applied Mechanics and Materials*. 787:(p 37-42).doi:<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.787.37>.
- Salinas S. 2013. *Introduction to Statistical Physics*. Springer Science & Business Media.
- Saputra MRH, Basuki RR, Muhtadin IA. 2024. Analisis Regresi Pada Pelanggaran Asumsi Klasik Pada Regresi Linear. *Madani: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*. 2(1).doi:<https://doi.org/10.5281/zenodo.10537197>.
- Sarungallo ZL, Santoso B, Istalaksana P, Unenor YI. 2007. Evaluasi perubahan kadar air, tekstur, dan rasa sagu lempeng dalam berbagai kemasan plastik selama penyimpanan. *Jurnal Agroteknologi*. 1(02):102-111. <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/JAGT/article/view/21460>
- Setyati D. 2020. Perbaikan Proses Produksi Dan Kreasi Desain Gerabah Di Desa Kesilir Kecamatan Wuluhan Untuk Mendukung Industri Kreatif Di Kabupaten Jember. *Jurnal Abdimas*. 24(1):26-32.doi:<https://doi.org/10.15294/abdimas.v24i1.21097>.
- Sofiati T, Sidin J. 2020. Uji Kadar Protein dan Lemak pada Sagu dengan Penambahan Ikan Cakalang di Kabupaten Pulau Morotai. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*. 6(2):158-162.doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3742822>.
- Subur AB, Salnuddin, Ramili Y, Akbar N, Ismail F. 2023. Pemanfaatan Lempung Alluvial Hutan Mangrove Sebagai Material Utama Pembuatan Gerabah Penyimpan Panas. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*. 6(2):(p 928-939).doi: <https://doi.org/10.33387/jikk.v6i2.7622>.
- Suhendar D, Sundari E, Supriadin A. 2019. Lumpur Hitam Tanah Rawa Hutan Mangrove Karangsong Kabupaten Indramayu: Komposisi Kimia Dan Transformasi Fasa Yang Dihasilkan Melalui Penanganan Secara Termal. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*. 29(2):127-139.doi:<https://doi.org/10.14203/risetgeotam2019.v29.625>.
- Wijayanti W. 2019. Identifikasi Efek Heating Rate Terhadap Laju Kinetika Reaksi Pirolisis Kayu Mahoni dengan Thermal Analysis Dan Termogravimetry. *Rekayasa Mesin*. 10(1):65 - 76.doi:<https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2019.010.01.9>.