

NASKAH ORISINAL

Implementasi Alat Pengering Maggot Tenaga Surya Dan Biogas Di TPS3R Sopo Nyongko Desa Kalanganyar Kecamatan Sedati Kabupaten Sidoarjo Melalui Pendekatan *Co-Design* Dan *Co-Creation* Sebagai Strategi *Phase Over* Proyek Desa Energi Berdikari Pertamina Foundation

Zidan Dani Bimantara | Hesti Puspita Putri | Bhisma Pramudhito | Happy Ayu Salasaty
Purnomo | Mochammad Lukman Tri Irwanto | Hafizh Dzaky Firananda | Doty Dewi Risanti *

Departemen Teknik Fisika, Institut
Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya,
Indonesia.

Korespondensi

*Doty Dewi Risanti, Departemen Teknik
Fisika, Institut Teknologi Sepuluh
Nopember, Surabaya, Indonesia. Alamat
e-mail: risanti@its.ac.id

Alamat

Laboratorium Material Fungsional Maju
Departemen Teknik Fisika FTIRS ITS
Surabaya

Abstrak

TPS3R (Tempat Pengelolaan Sampah - *Reduce, Reuse, Recycle*) KSM Sopo Nyongko di Desa Kalanganyar, Kecamatan Sedati, Sidoarjo, menerapkan diversifikasi pengolahan sampah organik (penganekaragaman metode pengolahan) untuk menciptakan sistem *zero waste*, salah satunya yaitu pengolahan hasil budidaya *Black Soldier Fly* (BSF) atau maggot. Selama ini maggot hasil budidayanya dikeringkan secara konvensional yang bergantung pada kondisi cuaca, padahal di TPS3R sudah terdapat sumber energi terbarukan berupa biogas dan panel surya. Kegiatan pengabdian ini mengembangkan sistem pengelolaan sampah organik berbasis integrasi teknologi *magobox* (biokonversi maggot) dan *rotary dryer* berbasis energi terbarukan di TPS3R Sopo Nyongko. Keterlibatan mitra melalui *co-design* dan *co-creation* (metode SLICE) menghasilkan integrasi *magobox* dan *rotary dryer* bertenaga surya-biogas yang minim revisi. Sistem ini terbukti efisien mengeringkan maggot hingga <10% sesuai standar pakan, yang secara efektif meningkatkan nilai tambah produk dan kemandirian TPS3R pada tahap *exit program*.

Kata Kunci:

biokonversi, *co-design* dan *co-creation* setelah biokonversi, energi bersih dan terjangkau, maggot, pengentasan kemiskinan, *rotary dryer hybrid*

1 | PENDAHULUAN

1.1 | Latar Belakang

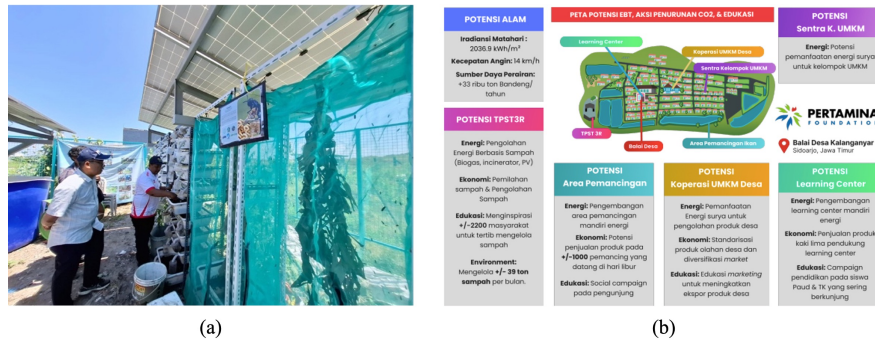
TPS3R Sopo Nyongko (Tempat Pengolahan Sampah *Reduce, Reuse, Recycle*) merupakan fasilitas pengelolaan sampah berbasis masyarakat yang berada di Desa Kalanganyar, Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo. TPS3R ini dibentuk sebagai respons terhadap meningkatnya timbulan sampah rumah tangga dan aktivitas ekonomi masyarakat pesisir, termasuk limbah yang berasal dari industri pengolahan ikan bandeng cabut duri yang menjadi salah satu sektor unggulan desa. TPS3R Sopo Nyongko menjadi bagian penting dari sistem pengelolaan lingkungan terpadu yang dikembangkan melalui kolaborasi antara masyarakat, Pemerintah Desa Kalanganyar, dan PT Pertamina Patra Niaga AFT Juanda^[1]. Untuk mewujudkan konsep 3R salah satu penerapannya adalah melalui pengelolaan sampah yang mana hasil pengelolaan tersebut dapat membantu meningkatkan ekonomi. Sebagai contoh di TPS3R Sopo Nyongko sampah non organik telah berhasil dikelola hingga mampu dibuat menjadi *paving block*^[2] sedangkan sisanya dikirim ke TPS3R yang lebih besar di Sedati Gede. Untuk sampah organik, TPS3R Sopo Nyongko Desa Kalanganyar Kecamatan Sedati Kabupaten Sidoarjo selama ini telah mengelola sedemikian rupa hingga menjadi bahan biogas (Gambar 1a). Adapun pemanfaatan biogas selama ini hanya sebagai bahan bakar kompor yang digunakan oleh petugas TPS3R untuk membuat minuman atau makanan instan. Selain itu di TPS3R Sopo Nyongko telah terdapat panel surya sebagai sumber listrik (Gambar 1b).



Gambar 1 Kondisi eksisting di TPS3R Sopo Nyongko (a) reaktor biogas dan (b) panel surya terpasang.

Selain aspek lingkungan, TPS3R Sopo Nyongko juga memiliki fungsi sosial dan ekonomi. TPS3R ini dikelola oleh kelompok swadaya masyarakat dan telah menciptakan peluang kerja bagi warga lokal, termasuk kelompok rentan. Berdiri sejak tahun 2023, TPS3R Sopo Nyongko dikelola oleh 13 anggota dan menjadi salah satu instrumen pemberdayaan masyarakat dalam meningkatkan pendapatan melalui kegiatan pengelolaan sampah, penjualan material daur ulang, serta pengembangan usaha berbasis limbah^[1]. Dalam perspektif pembangunan berkelanjutan, TPS3R Sopo Nyongko tidak hanya berfungsi sebagai sarana teknis pengelolaan sampah, tetapi juga sebagai pusat edukasi lingkungan dan perubahan perilaku masyarakat. Berbagai kegiatan pelatihan, studi banding, dan peningkatan kapasitas dilakukan untuk meningkatkan kesadaran warga mengenai pentingnya pemilahan sampah, prinsip 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*), dan pengelolaan lingkungan yang bertanggung jawab. Bahkan pengelola TPS3R telah melakukan studi pembelajaran ke Kampung Edukasi Sampah Sidoarjo untuk memperkuat kapasitas kelembagaan dan inovasi pengelolaan sampah berbasis komunitas^[3].

Melalui program Desa Energi Berdikari (DEB) Sobat Bumi Pertamina Foundation yang dilaksanakan oleh mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya sejak 2024 hingga saat ini, telah melakukan diversifikasi pengelolaan sampah organik tersebut tidak hanya untuk biogas, tetapi dikembangkan pula melalui teknologi biokonversi menggunakan larva *Black Soldier Fly* (BSF) atau maggot (Gambar 2a)^[4]. Maggot sendiri saat masih berbentuk larva dapat mengkonversi limbah organik melalui enzim dan bakteri yang ada di dalam ususnya, sehingga bahan organik terpecah menjadi nutrisi yang dapat dikonsumsi oleh maggot. Adapun kelebihan dari budidaya maggot ini antara lain adalah waktu yang relatif singkat untuk pemanenannya dibandingkan jika sampah diolah menjadi kompos. Selain itu maggot membutuhkan makanan dari sampah organik, sehingga dapat dimanfaatkan untuk mengelola sampah agar tidak mencemari lingkungan. Di lain sisi, maggot juga kaya akan protein dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber pakan ternak dan ikan berkualitas tinggi^[5, 6]. Dengan demikian, penggunaan maggot sebagai produk turunan limbah organik membuka peluang untuk mendukung sektor peternakan sekaligus mengurangi beban limbah



Gambar 2 (a) Tempat budidaya maggot dari program DEB Sobat Bumi dan (b) peta potensi desa Kalanganyar, Sedati, Sidoarjo.

serta menggerakkan ekonomi sirkular mengingat di desa Kalanganyar terdapat banyak kolam pemancingan ikan, sebagaimana hasil *survey* potensi berikut ini pada Gambar 2b.



Gambar 3 (a) Kandang ayam dan (b) bioflok ikan nila di TPS3R Sopo Nyongko.

Upaya pembudidayaan maggot di TPS3R Sopo Nyongko sejauh ini masih menghasilkan maggot kering dalam jumlah yang tidak banyak karena masih mengandalkan pengeringan di bawah sinar matahari. Sehingga sebagian besar yang dihasilkan masih bersifat maggot segar yang kemudian dijadikan pakan ayam (Gambar 3a). Untuk meningkatkan daya saing produk, dibutuhkan alat tambahan berupa pengering maggot yang diharapkan mampu mengeringkan secara merata dan memiliki suhu pengeringan yang stabil. Pengeringan yang tidak merata dan suhu yang tidak stabil dapat menyebabkan penurunan kualitas nutrisi maggot serta meningkatkan risiko kontaminasi mikroorganisme, yang pada akhirnya menurunkan mutu produk akhir^[7]. Jika ditargetkan untuk pakan ikan, *pellet* dan kasgot (media bekas budidaya maggot) yang dihasilkan harus mempunyai kandungan protein, nitrogen, fosfor, dan kalium yang sesuai standar (Gambar 3b).

1.2 | Solusi Permasalahan atau Strategi Kegiatan

Dalam menentukan metode pengeringan, tim melakukan pendekatan sebagai berikut: identifikasi masalah bersama mitra (*co-identification*) agar sesuai dengan kebutuhan mitra, dialog bersama sehingga terjadi proses pertukaran pengetahuan, penyamaan persepsi, pengalaman, dan kebutuhan sehingga terbentuk pemahaman yang lebih komprehensif terhadap permasalahan yang dihadapi (*co-design*), dan pelibatan langsung mitra dalam pengumpulan data, pengembangan solusi, pengujian inovasi, hingga evaluasi hasil (*co-creation*). Proses kolaboratif ini meningkatkan kualitas solusi karena menggabungkan pengetahuan ilmiah dengan pengetahuan lokal masyarakat. Luaran dari *co-creation* ini berupa teknologi tepat guna yang langsung dapat dimanfaatkan oleh mitra di TPS3R. Produk ini diharapkan memiliki tingkat penerimaan yang lebih tinggi karena sesuai dengan kebutuhan pengguna^[8]. Sebagai hilir dari tahap ini adalah adanya perubahan pola pikir, peningkatan kapasitas masyarakat, dan penguatan kemampuan komunitas dalam menyelesaikan masalah secara mandiri^[9]. Adapun pendekatan yang dilakukan

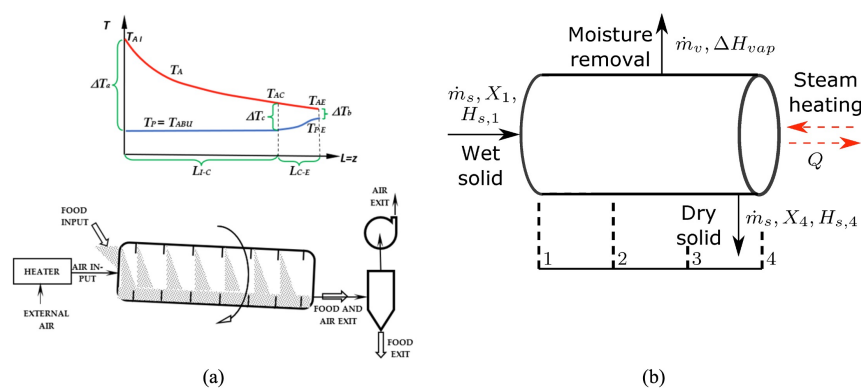
untuk menjalankan program ini agar teknologi yang diterapkembangkan dapat mengubah perilaku masyarakat, di antaranya metode *Participatory Action Learning System*^[10], NIDA (*Need, Idea, Decision and Action*)^[11, 12], dan SLICE (*Strategic, Learning, Instructive, Coaching, Evaluation*)^[13]. Dari tiga metode tersebut metode SLICE yang paling mendekati pendekatan yang diharapkan oleh Pertamina Foundation untuk menggerakkan masyarakat. Pada pengabdian kepada masyarakat ini diharapkan ke depannya mampu menggerakkan ekonomi sirkular dari budidaya maggot. Untuk itu, tim pengabdian menjelaskan kepada mitra beberapa pilihan metode proses pengeringan maggot yang sudah ada berupa pengeringan secara konvensional di bawah sinar matahari, menggunakan media sangrai berupa pasir, *oven* rak^[14], atau menggunakan mesin. Mesin yang digunakan biasanya berupa mesin *rotary dryer*^[12]. *Rotary dryer* sendiri merupakan alat pengering berbentuk silinder yang berputar secara kontinu dan dipanaskan dengan tungku atau sumber panas lain^[15]. Prinsip kerjanya adalah silinder horizontal berputar sehingga udara panas yang masuk dapat mengalir secara merata melalui permukaan produk yang dikeringkan. Berdasarkan potensi yang ada di TPS3R Sopo Nyongko yang telah mempunyai sumber daya biogas dan panel surya, maka pada pengabdian masyarakat ini akan dibuat *rotary dryer* maggot dengan tenaga surya dan biogas.

1.3 | Target Luaran

Di sisi lain, sebagai bagian dari keberlanjutan program Desa Energi Berdikari Sobat Bumi Pertamina Foundation yang telah memasuki tahap *phase over* yang mendukung kegiatan MBKM (Merdeka Belajar Kampus Merdeka), tim mengintegrasikan kegiatan ini dengan mata kuliah wajib Proyek Rekayasa Interdisiplin di Departemen Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem ITS. Mata kuliah ini merupakan mata kuliah *capstone design*, yang mana mahasiswa dari lima bidang minat yang ada di Teknik Fisika saling berkolaborasi untuk menyelesaikan suatu proyek. Khususnya pada proyek ini, mahasiswa tidak hanya mempunyai tantangan secara teknologi, namun juga tantangan *soft skill* berupa interaksi langsung dengan masyarakat.

2 | TINJAUAN PUSTAKA

Rotary dryer umumnya digunakan untuk mengeringkan bahan granular dalam jumlah besar karena konstruksinya yang sederhana dan fleksibilitas dalam pengoperasian; selain itu, unit peralatan ini dapat menangani padatan basah dan kering^[16]. Secara skematis, distribusi temperatur sepanjang drum ditunjukkan pada Gambar 4a. Perpindahan panas dalam drum yang berputar menghasilkan dua zona: zona dekat *inlet* (LI-C) yang didominasi oleh material yang kandungan air mula-mulanya akan berkurang hingga mencapai kandungan air kritis dan zona dekat *outlet* (LC-E) yang didominasi oleh material dengan kandungan air kritis berkurang hingga mencapai kandungan air akhir. TA di sini merupakan temperatur udara yang relatif lebih tinggi di sisi *inlet*, sedangkan TP adalah temperatur produk yang justru semakin tinggi di sisi *outlet*.



Gambar 4 Skema (a) distribusi temperatur sepanjang drum^[17] dan (b) neraca kesetimbangan massa di dalam drum^[18].

Konduksi, konveksi, dan radiasi berkontribusi pada perpindahan panas antara gas, padatan, dan uap, di mana suhu bervariasi terhadap waktu dalam posisi radial, melingkar, dan aksial drum. Saat drum berputar, material mengalami gerakan melintang serta aksial di seluruh drum^[19]. Selama proses ini, padatan kehilangan kelembaban yang ditransfer ke aliran udara yang bersirkulasi

untuk selanjutnya dikeluarkan dari peralatan. Gerakan melintang dalam *rotary dryer* dipengaruhi oleh banyaknya material yang dikeringkan, kecepatan putar, diameter drum, sudut kemiringan drum, sifat material yang sedang diproses, dan kondisi gesekan antara lapisan padat dan dinding drum^[19]. Mekanisme perpindahan panas yang dominan dalam peralatan pengering adalah konveksi dari fluida kerja ke rangkaian drum, konduksi melalui dinding logam, konduksi dari dinding logam ke lapisan padat yang berdekatan (lapisan padat kontak pertama), konduksi dari lapisan padat kontak pertama ke massa utama, dan konveksi dari permukaan luar pengering ke lingkungan luar. Gambar 4b menunjukkan skema pembagian drum ke dalam tiga daerah untuk mengetahui kesetimbangan energi dan massa di dalamnya. Secara makroskopis neraca energi dan massa^[18]:

$$m_s X_1 = m_s X_4 + m_v \quad (1)$$

$$m_s H_{s,1} + h_{eff} A_T (T_W - T_{sat}) = m_s H_{s,A} + m_v \Delta H_v \quad (2)$$

Dengan m_s adalah aliran massa padatan kering, X adalah kadar air padatan dalam basis kering, m_v adalah aliran massa dari uap air, H_s adalah entalpi padatan lembab, h_{eff} adalah koefisien perpindahan panas efektif, A_T adalah luas permukaan perpindahan panas drum, T_W adalah temperatur drum pemanas yang diasumsikan sama dengan temperatur uap pemanas, T_{sat} adalah temperatur jenuh air, dan ΔH_v adalah panas laten penguapan.

3 | METODE KEGIATAN

Metode yang dilakukan mengikuti tahapan dari metode SLICE sebagaimana disebutkan sebelumnya, yaitu *strategic, learning, instructive, coaching, and evaluation*. Interpretasi dan implementasi dari masing-masing tahapan diuraikan sebagai berikut.

3.1 | Tahap Strategic

Meliputi observasi ke TPS3R Sopo Nyongko dan melakukan analisis kebutuhan^[20]. Data yang dikumpulkan berupa produksi maggot dari *magobox* proyek tahun sebelumnya^[4] yaitu mampu mengolah 25 kg sampah dan menghasilkan 41,43 kg larva basah. Selain itu, ketersediaan biogas dan daya dari PLTS terpasang. TPS3R mempunyai panel surya dengan kapasitas 8 kWp dimana untuk kebutuhan rutin maksimal sebesar 1,38 kW dengan aktivitas dari jam 9 sampai jam 16.00. Daya yang digunakan dalam 1 hari sebesar 9,66 kWh. Berdasarkan data tersebut selanjutnya dilakukan perancangan alat meliputi:

3.1.1 | Pemilihan Material

Pemilihan material untuk komponen kritis pada sistem *rotary dryer hybrid* dilakukan melalui analisis multi-kriteria sistematis dengan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) dan *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS)^[21]. Komponen yang dipilih untuk dianalisis adalah silinder pengering dan struktur *chassis* (Gambar 5). Metode AHP digunakan untuk menentukan bobot kriteria melalui perhitungan *eigenvector* dari matriks perbandingan berpasangan, serta dilakukan uji konsistensi menggunakan *Consistency Ratio* (CR) dengan persamaan:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

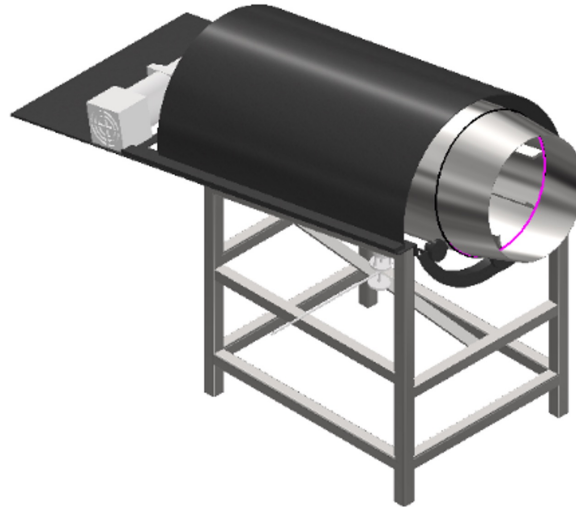
dengan RI adalah nilai acuan dari matriks acak berdasarkan Saaty dan $CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n-1}$ di mana λ_{maks} merupakan nilai eigen terbesar dan n adalah jumlah kriteria yang digunakan. Di sini, hasil perhitungan menunjukkan nilai CR kurang dari 0,1 sehingga penilaian dinyatakan konsisten. Selanjutnya, metode TOPSIS digunakan untuk menentukan alternatif material terbaik berdasarkan kedekatan terhadap solusi ideal, dengan menghitung jarak Euclidean terhadap solusi ideal positif dan negatif menggunakan persamaan:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum (V_{ij} - V_j^+)^2} \text{ dan } D_i^- = \sqrt{\sum (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (4)$$

serta nilai preferensi dihitung menggunakan $C_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+}$.

Hasil analisis menunjukkan bahwa untuk silinder pengering, material terbaik adalah *Stainless Steel* 304 dengan nilai kedekatan $C_i = 0,815$, sedangkan untuk struktur *chassis*, material yang paling optimal adalah baja galvanis dengan nilai $C_i = 0,846$.

Kedua material tersebut dipilih karena memiliki kedekatan tertinggi terhadap solusi ideal dan memenuhi kriteria teknis serta ekonomis yang dibutuhkan dalam perancangan alat.



Gambar 5 Desain awal sistem pengering *rotary dryer*.

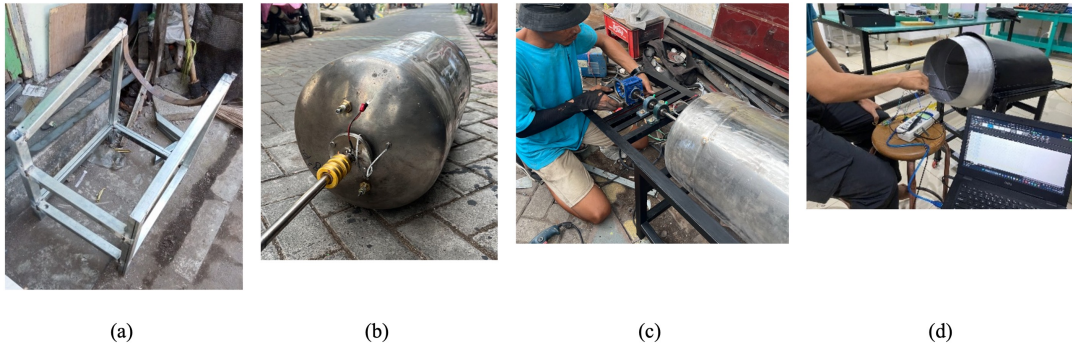
3.1.2 | Kebutuhan Energi dan Kapasitas *Rotary Dryer*

Perhitungan kebutuhan energi dan kapasitas *rotary dryer* dilakukan untuk memastikan kesesuaian antara beban alat dengan ketersediaan energi dari sistem panel surya di TPS3R. Konsumsi energi listrik alat dihitung menggunakan persamaan $E = P \times t$, dengan daya total sistem merupakan penjumlahan antara daya *heater* dan motor penggerak $P_{total} = P_{heater} + P_{motor}$. Selanjutnya, energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dihitung berdasarkan radiasi matahari yang diterima modul menggunakan persamaan $E_{PV} = G \times A \times \eta$, di mana G adalah iradiasi matahari diperoleh dari^[22], A adalah luas modul, dan η adalah efisiensi panel. Total energi harian yang dihasilkan oleh sistem PLTS diperoleh dari akumulasi energi tiap panel atau secara sederhana dinyatakan sebagai $E_{total} = E_{panel} \times N_{panel}$ ($N_{panel} = 16$). Untuk mengetahui kelayakan integrasi sistem, dilakukan analisis neraca energi menggunakan persamaan $E_{sis} = E_{PLTS} - E_{beban}$. *Rotary dryer* ini mempunyai beban *heater* maksimal sebesar 700 watt dan motor untuk penggerak sebesar 180 watt. Dengan penggunaan 1 hari sekali selama 3 jam, maka kebutuhan energi *rotary dryer* sebesar 2,64 kWh per hari masih dapat dipenuhi oleh sistem panel surya dengan total produksi energi mencapai sekitar 26,74 kWh per hari, sehingga terdapat cadangan energi yang cukup besar dan instalasi alat dinyatakan layak untuk diterapkan.

3.2 | Tahap *Learning*

Tahap *learning* dimulai dengan persiapan alat dan bahan, yakni pembelian material berdasarkan pemilihan di tahap sebelumnya (tahap *strategic*), pembelian komponen-komponen yang diperlukan, dan kajian *safety* alat. Gambar 6 menunjukkan proses pembuatan alat yang dimulai terlebih dahulu dengan membuat (a) kerangka alat berdasarkan desain pada Gambar 5, (b) silinder pengering, dan (c) pemasangan sistem *rotary*. Terakhir dilakukan (d) pemasangan komponen elektrik, kalibrasi, dan uji coba alat.

Untuk mengetahui resiko bahaya saat alat digunakan, maka dilakukan kajian *safety* alat dengan menggunakan metode HIRADC (*Hazard Identification Risk Assessment Determined Control*)^[23]. Berdasarkan analisis HIRADC, ditemukan beberapa potensi bahaya dengan tingkat risiko tinggi hingga ekstrem, terutama terkait suhu tinggi, kebocoran biogas, sistem kelistrikan, serta bagian mekanis yang bergerak. Oleh karena itu, diperlukan penerapan prosedur keselamatan kerja yang komprehensif. Untuk risiko suhu tinggi pada drum dan *burner*, diperlukan penggunaan alat pelindung diri seperti sarung tangan tahan panas dan pemasangan isolasi termal serta tanda peringatan K3 (Gambar 7). Pada risiko kebocoran biogas dan kebakaran, perlu dilakukan inspeksi rutin pada sambungan pipa, penggunaan katup pengaman, serta penyediaan alat pemadam api ringan (APAR). Risiko



Gambar 6 Proses (a) pembuatan rangka, (b) silinder pengering, (c) pemasangan sistem *rotary*, dan (d) kalibrasi suhu.

kelistrikan harus dikendalikan melalui instalasi kabel yang terisolasi dengan baik, sistem *grounding*, serta penggunaan perangkat proteksi seperti *Miniature Circuit Breaker* (MCB). Selain itu, bagian mesin yang berputar harus dilengkapi pelindung (*guard*) untuk mencegah kontak langsung dengan operator. Risiko tambahan seperti paparan biologis dan lantai licin juga perlu diantisipasi melalui penggunaan alat pelindung diri (APD), menjaga kebersihan area kerja, ventilasi yang memadai, serta penataan area agar lebih ergonomis.



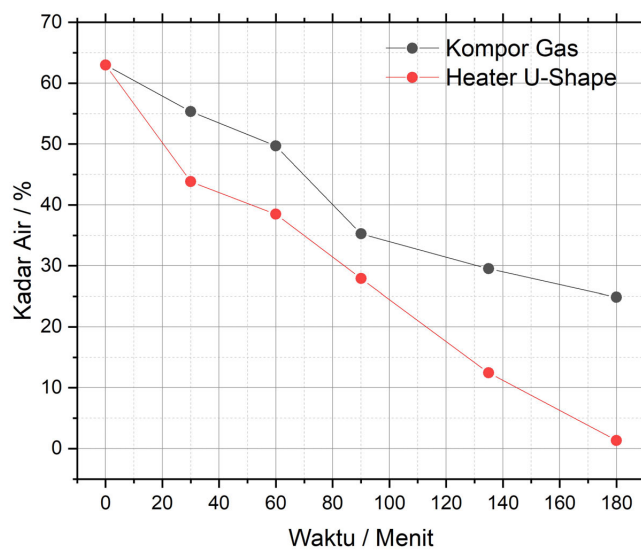
Gambar 7 Pemasangan stiker K3 sebagai bagian menurunkan risiko keselamatan kerja.

Kinerja sensor suhu dikaji melalui proses kalibrasi dengan membandingkan pembacaan termokopel terhadap alat standar. Hasil kalibrasi menunjukkan nilai akurasi sebesar 99,214% dan presisi 0,497 dengan histerisis yang kecil (<1), yang mengindikasikan bahwa sensor memiliki ketelitian tinggi, konsistensi pembacaan yang baik, serta stabil terhadap perubahan arah pengukuran. Selain itu, karakteristik dinamik sensor juga dianalisis menggunakan pendekatan orde satu dengan *time constant* (τ), yang diperoleh dari kondisi 63,2% respon sistem terhadap perubahan suhu. Nilai *time constant* sebesar 11,26 detik pada sensor termokopel berarti sensor memiliki respon yang relatif lambat, yaitu membutuhkan waktu sekitar 11,26 detik untuk mencapai 63,2% dari perubahan suhu menuju kondisi tunak. Kondisi ini menyebabkan adanya keterlambatan (*delay*) dalam pembacaan suhu aktual, sehingga sistem pengendalian dapat mengalami *overshoot* ketika pemanas masih bekerja meskipun suhu sebenarnya sudah mendekati atau melebihi *set-point*. Namun demikian, karena proses pengeringan maggot berlangsung dalam skala waktu yang

relatif lama (orde jam), keterlambatan respon tersebut tidak memberikan dampak signifikan terhadap performa keseluruhan sistem, dan sensor masih dinilai cukup memadai untuk digunakan selama sistem kontrol tetap mempertimbangkan kemungkinan lag tersebut. Pengujian performa pengeringan dilakukan dengan menghitung kadar air maggot menggunakan persamaan:

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{Massa_{awal} - Massa_{akhir}}{Massa_{awal}} \times 100\% \quad (5)$$

Hasil pengujian menunjukkan kadar air awal maggot sekitar $61 \pm 2\%$, yang kemudian mengalami penurunan selama proses pengeringan pada suhu 100°C selama 3 jam. Berdasarkan Gambar 8, terlihat bahwa penggunaan *heater* listrik pada rentang suhu $60\text{--}70^\circ\text{C}$ mampu menurunkan kadar air secara signifikan hingga di bawah 10% dalam waktu 3 jam, sesuai dengan standar SNI 01-2891-1992, sedangkan penggunaan kompor gas menunjukkan laju pengeringan yang lebih lambat dan kurang stabil. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa sistem pengering berbasis listrik memberikan performa yang lebih efektif, stabil, dan memenuhi standar kualitas produk dibandingkan menggunakan kompor. Di sini kompor yang digunakan adalah kompor gas biasa (LPG).



Gambar 8 Pengurangan kadar air maggot selama proses pengeringan.

3.3 | Tahap *Instructive* dan *Coaching*

Tahap *instructive* dan *coaching* menerapkan pendekatan *instructional design*^[24] yang berfokus pada pemberian pemahaman menyeluruh kepada mitra mengenai fungsi, cara penggunaan, dan perawatan mesin. Kegiatan ini disertai dengan demonstrasi langsung agar lebih mudah dipahami, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9 yang dilaksanakan pada 28 Agustus 2025. Selain itu, tahap ini juga mencakup penerapan teknologi melalui instalasi alat pengering *rotary dryer* di TPS3R, penyerahan alat perawatan, serta prosedur penggunaan alat sebagaimana terlihat pada Gambar 9.

3.4 | Tahap *Evaluation*

Tahap evaluasi menggunakan metode *formative and summative evaluation*^[25]. Tahap ini dilakukan untuk mengidentifikasi dan memperbaiki kekurangan selama pelaksanaan program melalui analisis data setiap tahapan, guna memastikan pencapaian hasil sesuai dengan tujuan yang direncanakan. Evaluasi ini berfokus pada tindak lanjut dari masukan operasional alat pengering oleh pengguna di TPS3R Sopo Nyongko. Kegiatan ini dilakukan pada bulan Desember 2025 dan Januari 2026.

4 | HASIL DAN DISKUSI



Gambar 9 Proses pelatihan mitra: (a) penggunaan alat dan (b) petunjuk operasional alat.

4.1 | Hasil Yang Dicapai

Sebelumnya proses pengeringan maggot masih dilakukan secara konvensional menggunakan energi matahari (dijemur). Saat musim hujan tentunya hal ini sangat berpengaruh pada produktivitas maggot. Dalam kondisi biasa, 15 ekor ayam yang saat ini ada di TPS3R mampu menghasilkan telur 13-15 butir per hari atau setara dengan 800 gram – 1 kg telur per hari. Pakan maggot tidak membuat ayam semakin banyak menghasilkan telur, namun berdasarkan informasi dari mitra pakan maggot membuat ayam tetap sehat. Dengan mesin pengering menggunakan sistem *rotary dryer* yang dapat diatur pengeringannya menggunakan listrik atau kompor biogas ini diharapkan pada kondisi musim hujan, produksi maggot untuk pakan ayam dapat tetap terjaga. Tabel 1 menunjukkan masukan dari mitra dan tindakan yang diberikan.

Tabel 1 Hasil evaluasi kinerja mesin *rotary dryer hybrid* oleh mitra dilakukan bulan Desember 2025 – Januari 2026.

No	Masukan	Tindakan	Dokumentasi
1	Roda yang digunakan terlalu kecil sehingga saat proses mobilisasi alat menimbulkan getaran yang besar.	Untuk itu dilakukan perbaikan dengan mengganti roda dengan roda <i>heavy duty</i> yang lebih besar dan lebih mampu meredam getaran.	
2	Kompor yang digunakan adalah kompor untuk gas biasa berbeda dengan kompor untuk biogas. Sehingga saat dihubungkan dengan instalasi biogas, kompor tidak dapat menyala.	Kompor diganti dengan kompor khusus biogas.	
3	Api kompor sulit menyala akibat angin.	Di sekitar kompor diberikan penghalang agar nyala api tidak terganggu angin. Setelah dihubungkan dengan instalasi biogas, kompor menyala dengan baik.	
Bersambung ke halaman berikutnya...			

Tabel 1 (Lanjutan)

No	Masukan	Tindakan	Dokumentasi
4	Uji coba setelah perbaikan	-	

Kompur khusus biogas berbeda dengan kompur gas biasa (LPG) disebabkan oleh karakteristik bahan bakar yang digunakan. Biogas umumnya mengandung 50-70% metana dan CO₂ yang mempunyai nilai kalor lebih rendah daripada LPG, yaitu 19-25 MJ/m³ dibandingkan dengan 125 MJ/m³^[2, 3]. Kebutuhan tekanan gas kompur biogas rendah, hanya sekitar 8-20 mbar, sedangkan kompur gas biasa membutuhkan 28-37 mbar^[2]. Oleh karena itu desain *nozzle* kompur biogas lebih besar untuk mengalirkan volume gas yang lebih banyak (laju konsumsi gas lebih besar) untuk menghasilkan panas yang sama dengan LPG, atau secara fisika dapat didekati dengan persamaan:

$$V_{biogas} = V_{LPG} \times \frac{LHV_{LPG} \times \eta_{LPG}}{LHV_{biogas} \times \eta_{biogas}} \quad (6)$$

dengan LHV biogas standar hanya sekitar 20% dari LHV volume LPG, maka untuk menghasilkan panas yang sama, volume biogas yang dialirkan ke kompur pengering harus berkisar antara 4,5 hingga 5 kali lebih banyak, dengan catatan efisiensi η kompur biogas dianggap sama dengan kompur gas. Pada kenyataannya, efisiensi kompur biogas yang ada di pasaran hanya berkisar antara 45 sampai 55% saja. Jika dibandingkan dengan kompur gas konvensional yaitu 55 hingga 65%. Melihat kondisi di lapangan tidak mungkin untuk mengatur volume biogas untuk kompur, maka perlu dilakukan uji coba di lapangan untuk pengeringan maggot menggunakan kompur biogas.

Masukan lain berupa suhu pengeringan yang diketahui sangat memengaruhi kadar gizi maggot. Suhu tinggi secara efektif menurunkan kadar air untuk memperpanjang masa simpan. Namun, penggunaan suhu yang terlalu panas dapat merusak protein dan mengubah kandungan lemak^[2]. Suhu sedang (60°C hingga 70°C) diketahui sangat baik untuk menjaga kualitas protein agar tidak terdenaturasi (rusak) dan kadar air turun secara bertahap hingga mencapai batas aman simpan^[2]. Sedangkan suhu tinggi (80°C hingga 130°C) diketahui efektif menghasilkan kadar air yang sangat rendah, namun dapat meningkatkan pemisahan dan oksidasi lemak yang berisiko mengubah profil asam amino. Khusus untuk suhu 130 °C dapat menggunakan metode sangrai/-panas kering, yang mana maggot dikeringkan secara cepat tanpa merusak total protein^[2, 3]. Suhu pengering ini adalah 70 °C sehingga diharapkan proses pengeringannya tidak terlalu kering atau pun tidak terlalu basah. Hal ini dikarenakan jika maggot terlalu kering atau terlalu basah sangat berpengaruh pada hasil telur pada ayam dan/atau tidak dimakan oleh ikan di kolam bioflok. Untuk ini diperlukan data penggunaan dalam jangka panjang yang akan dikerjakan oleh tim berikutnya.

4.2 | Diskusi Keberlanjutan dan Strategi Exit Program

Implementasi TPS3R Sopo Nyongko dalam program Desa Energi Berdikari Pertamina Foundation menunjukkan bahwa keberlanjutan program tidak hanya ditentukan oleh aspek teknis, tetapi juga oleh penerapan prinsip partisipatif, kontekstual, dan inklusif. Ketiga prinsip ini menjadi landasan dalam pengembangan inovasi berkelanjutan, termasuk integrasi teknologi *magobox* dan *rotary dryer* berbasis energi terbarukan. Pada tahap awal, program berhasil mengimplementasikan teknologi *magobox* sebagai sarana budidaya larva *Black Soldier Fly* (BSF) untuk mengonversi limbah organik menjadi biomassa bernilai ekonomi. Teknologi biokonversi BSF telah terbukti efektif dalam mengurangi limbah organik sekaligus menghasilkan sumber protein dan pupuk organik (kasgot) yang mendukung konsep ekonomi sirkular. Namun demikian, keterbatasan muncul pada tahap pascapanen karena produk masih didominasi maggot segar dengan daya simpan pendek. Permasalahan tersebut mendorong pengembangan teknologi *rotary dryer* sebagai solusi hilirisasi produk. Prinsip partisipatif tercermin dari keterlibatan masyarakat dalam operasional *magobox* hingga proses *co-design* alat pengering, sehingga teknologi yang dihasilkan sesuai kebutuhan

pengguna dan meningkatkan rasa memiliki (*sense of ownership*). Prinsip kontekstual diwujudkan melalui pemanfaatan limbah organik kawasan pesisir sebagai pakan maggot dan penggunaan energi lokal (surya dan biogas) untuk proses pengeringan. Teknologi pengering berbasis kombinasi energi ini terbukti mampu meningkatkan efisiensi dan menjaga kestabilan proses dibandingkan metode konvensional. Dari aspek teknis, pengeringan merupakan tahapan krusial dalam stabilisasi produk maggot karena kadar air yang tinggi dapat memicu pertumbuhan mikroorganisme dan menurunkan kualitas. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa metode pengeringan berpengaruh signifikan terhadap sifat fisik, kandungan nutrisi, serta daya simpan larva BSF. Dalam konteks ini, penggunaan *rotary dryer* memungkinkan pengeringan yang lebih merata dan terkontrol, sehingga mampu menghasilkan maggot kering dengan kadar air rendah ($<10\%$) yang sesuai standar kualitas pakan. Integrasi *magobox* dan *rotary dryer* membentuk rantai proses yang utuh, mulai dari pengolahan limbah hingga produk akhir bernilai ekonomi tinggi. Teknologi pengering juga diketahui mampu meningkatkan nilai jual dan memperpanjang masa simpan produk, sehingga menjadi faktor penting dalam skema bisnis budidaya maggot. Selain itu, pendekatan inklusif yang melibatkan berbagai kelompok masyarakat memperkuat adopsi teknologi serta memastikan distribusi manfaat yang merata. Pada tahap *phase-over*, keberlanjutan sistem diperkuat melalui pengalihan pengelolaan kepada kelembagaan lokal. Penguatan kapasitas, penyusunan SOP, dan transfer pengetahuan terkait operasional *magobox* dan *rotary dryer* menjadi faktor penting dalam memastikan kemandirian. Pengembangan model bisnis berbasis ekonomi sirkular—melalui penjualan maggot kering dan kasgot—serta integrasi dengan BUMDes turut mendukung keberlanjutan finansial program. Dengan demikian, integrasi antara teknologi biokonversi (*maggot box*) dan teknologi pengering (*rotary dryer*) yang didukung oleh pendekatan partisipatif, kontekstual, dan inklusif menghasilkan sistem pengelolaan sampah yang komprehensif. Model ini tidak hanya efektif dalam mengurangi limbah, tetapi juga meningkatkan nilai ekonomi produk dan memperkuat kemandirian masyarakat, sehingga menjadi kunci keberhasilan *exit program* yang berkelanjutan.

5 | KESIMPULAN DAN SARAN

Dari kegiatan ini dapat disimpulkan bahwa integrasi energi surya (PLTS) dan biogas terbukti mampu memenuhi kebutuhan energi pengering, menunjukkan kelayakan teknis sistem berbasis energi terbarukan. Pendekatan *co-design* dan *co-creation* meningkatkan kesesuaian teknologi, penerimaan pengguna, serta memperkuat kapasitas masyarakat dalam pengoperasian sistem. Integrasi *magobox* dan *rotary dryer* menghasilkan sistem pengelolaan sampah organik yang terintegrasi dari hulu (biokonversi) hingga hilir (stabilisasi produk). *Magobox* efektif dalam mengonversi limbah organik menjadi biomassa bernilai ekonomi, namun memerlukan proses pengeringan untuk meningkatkan kualitas dan daya simpan. *rotary dryer* menunjukkan kinerja optimal dengan kemampuan menurunkan kadar air hingga $<10\%$ dalam waktu 3 jam pada suhu operasi $60\text{--}70^\circ\text{C}$, sehingga memenuhi standar mutu pakan. Pada tahap *phase-over*, keberlanjutan sistem ditentukan oleh penguatan kelembagaan, transfer teknologi, dan pengembangan model bisnis ekonomi sirkular berbasis produk maggot.

Adapun saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Diperlukan uji performa skala produksi untuk mengevaluasi kapasitas alat pada kondisi operasional nyata di TPS3R.
2. Analisis tekno-ekonomi dan *life cycle assessment* (LCA) perlu dilakukan untuk menilai kelayakan investasi serta dampak lingkungan sistem secara menyeluruh.
3. Pengembangan produk turunan (*pellet* pakan, tepung maggot, dan kasgot) perlu dioptimalkan untuk meningkatkan nilai ekonomi dan diversifikasi usaha.
4. Penguatan model kelembagaan dan kemitraan (BUMDes, industri pakan, pemerintah daerah) penting untuk memastikan keberlanjutan pasar dan adopsi teknologi jangka panjang.

6 | UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Departemen Teknik Fisika FTIRS Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan pendanaan kegiatan ini dalam skema Abmas Tematik Dana Unit Tahun 2025 No. Kontrak 2618/PKS/ITS/2025, Pertamina Foundation yang telah memberikan dana dalam bentuk hibah Desa Energi Berdikari

tahun kedua berupa penyediaan dan implementasi media pembiakan maggot, dan Desa Kalanganyar, Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo terutama pengelola TPS3R Sopo Nyongko yang telah menjadi mitra kegiatan ini.

Referensi

1. Kinasih P, Erbianto N, Satrio EF, Pertamina PT, Niaga P, Juanda A. Advocating Change: Community-Based Multiple Waste Management System through the Kalanganyar Sentris Berseri Program by PT Pertamina Patra Niaga AFT Juanda. *Prospect: Jurnal Pemberdayaan Masyarakat* 2025;4:37–49.
2. Madaniah AN, Fithriyah NN, Yuliadi H, Sari TR, Rohmah L. Inovasi Pemanfaatan Limbah Sampah Menjadi Paving Block di Desa Kalanganyar Sidoarjo. *Nusantara Community Empowerment Review* 2024;2:37–42.
3. KSM TPS3R Sopo Nyongko, Studi Pengelolaan Sampah Desa Kalanganyar; n.d. <https://kampungedukasisampah.id/news-163-ksm-tps3r-sopo-nyongko-desa-kalanganyar-studi-pengelolaan-sampah>, accessed: 2026-06-17.
4. Rizkiana Ramadhani R, Dewi Risanti D, Ade Putri A, Septyaningrum E, Putri Cahyani F, Rafi Putra Prayitno R, et al. Analisis Social Return on Investment dan Indeks Kepuasan Masyarakat Program Pemberdayaan Komunitas Pengelola TPS3R Desa Kalanganyar, Sidoarjo melalui Implementasi Sistem Budidaya Larva Black Soldier Fly untuk Mendukung Ekonomi Sirkular. *Sewagati* 2025;9:1305–1318.
5. Ula R, Fauzi A, Resty E, Sari N. Analisis Usaha Budidaya Maggot sebagai Alternatif Pakan Lele. *Industria: Jurnal Teknologi Dan Manajemen Agroindustri* 2018;7:39–46.
6. Yuwita R, Fitria L, Jumiati J. Teknologi Biokonversi Sampah Organik Rumah Makan Dengan Larva Black Soldier Fly (BSF). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah* 2022;10:247–253.
7. Campbell M, Ortuño J, Stratakos AC, Linton M, Corcionivoschi N, Elliot T, et al. Impact of Thermal and High-Pressure Treatments on the Microbiological Quality and In Vitro Digestibility of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae. *Animals* 2020;10:682.
8. Lee D, Feiertag P, Unger L. Co-production, co-creation or co-design of public space? A systematic review. *Cities* 2024;154:105372.
9. Mačiulienė M, Butkevičienė E, Vaidelytė E, Balázs B. Co-creating Social Change through Citizen Science: Systematic Literature Analysis. *Filosofija Sociologija* 2021;32:159–168.
10. Mayoux L. Participatory Action Learning Systems (PALS): Impact assessment for civil society development and grassroots-based advocacy in Anandi, India. *Journal of International Development* 2005;17:211–242.
11. Tungkup FL, Sirait G. Perancangan Ulang Tutup Kaleng Makanan Yang Aman. *Computer and Science Industrial Engineering (COMASIE)* 2023;9.
12. Kuswandi MR, Ramadhan S. Rancang Bangun Mesin Pengering Maggot Tipe Rotary Dryer Menggunakan Pemanas Infrared Burner dengan Metode NIDA Guna Memproduksi Maggot Kering. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN)* 2025;8:2708–2727.
13. Boer S. A Review of Instructional Coaching Model: The Support for Novice Teachers. *Journal of Education and Educational Research* 2023;5:231–235.
14. Ramdan FM, Pramono GE, Sutoyo E. Uji Kinerja Performa Oven Pengering Tipe Rak Pada Larva Black Soldier Fly (BSF). *ALMIKANIK* 2023;5:93–97.
15. Effendy S, Syarif A, Rendi Setiady R, Anjas Abdul Kholik M. Kajian Prototipe Rotary Dryer Berdasarkan Kecepatan Putaran Silinder Pengering Dan Laju Alir Udara Terhadap Efisiensi Thermal Pengeringan Biji Jagung. *Kinetika* 2018;9:43–49.
16. Kunii D, Chisaki T. Rotary reactor engineering. Publisher Not Specified; 2008.

17. Friso D. Mathematical Modelling of Rotary Drum Dryers for Alfalfa Drying Process Control. *Inventions* 2023;8:11.
18. Donoso-García P, Henríquez-Vargas L, González J, Díaz I, Fuentes I. A Study for Estimating the Overall Heat Transfer Coefficient in a Pilot-Scale Indirect Rotary Dryer. *Processes* 2024;12:357.
19. Nafsun AI, Herz F. Experiments on the temperature distribution in the solid bed of rotary drums. *Applied Thermal Engineering* 2016;103:1039–1047.
20. Scott EE, Wenderoth MP, Doherty JH. Design-based research: A methodology to extend and enrich biology education research. *CBE Life Sciences Education* 2020;19:1–12.
21. Park C, Son M, Kim J, Kim B, Ahn Y, Kwon N. TOPSIS and AHP-Based Multi-Criteria Decision-Making Approach for Evaluating Redevelopment in Old Residential Projects. *Sustainability* 2025;17:7072.
22. Global Solar Atlas, Global Solar Atlas Map; n.d. <https://globalsolaratlas.info/map>, accessed: 2026-06-16.
23. Cholil AA, Santoso S, Syahrial TR, Sinulingga EC, Nasution RH. Penerapan Metode Hiradc Sebagai Upaya Pencegahan Risiko Kecelakaan Kerja Pada Divisi Operasi Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap. *Jurnal Bisnis Dan Manajemen (Journal of Business and Management)* 2021;20:41–64.
24. Haagen-Schützenhöfer C, Hopf M. Design-based research as a model for systematic curriculum development: The example of a curriculum for introductory optics. *Physical Review Physics Education Research* 2020;16:020152.
25. Regenold TA, Murphy SE, Reed PA. Developing Systemic Thinking Skills: Design-Based Research of One-Page Tools for Public Managers. *TechTrends* 2025;69:552–566.

Cara mengutip artikel ini: Bimantara, Z. D., Putri, H. P., Pramudhito, B., Purnomo, H. A. S., Irwanto, M. L. T., Firananda, H. D., Risanti, D. D., (2026), Implementasi Alat Pengereng Maggot Tenaga Surya Dan Biogas Di TPS3R Sopo Nyongko Desa Kalanganyar Kecamatan Sedati Kabupaten Sidoarjo Melalui Pendekatan *Co-Design* Dan *Co-Creation* Sebagai Strategi *Phase Over* Proyek Desa Energi Berdikari Pertamina Foundation, *Sewagati*, 10(4):829–841, DOI: <https://doi.org/10.12962/j26139960.v10i4.10230>.