

Penerapan Nitrogen Flushing Berbasis Continuous Sealer pada Produk Telang: Perubahan Pengetahuan Operator dan Mutu Kemasan**(Implementation of Nitrogen Flushing Using a Continuous Sealer for Butterfly Pea Products: Changes in Operator Knowledge and Packaging Quality)**

Muhkamad Wakid^{1*}, Asri Widowati², Ngabdul Munif³, Nabila Naila Fatin¹, Aisyah Rohmatunnisa⁴, Achmad Novianto¹, Yuli Arti²

¹Departemen Pendidikan Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

²Departemen Pendidikan IPA, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

³Departemen Tata Boga, Busana, dan Rias Kecantikan, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

⁴Departemen Pendidikan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

*Corresponding Author. Email: wakid_m@uny.ac.id

Abstrak

Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) produk telang di Sendangsari menghadapi kendala berupa pengemasan manual, ketidakseragaman hasil penyegelan, potensi kebocoran, dan belum optimalnya pemanfaatan *continuous sealer*. Program Pengabdian kepada Masyarakat ini menerapkan *nitrogen flushing* yang terintegrasi dengan *continuous sealer*, prosedur operasi standar (SOP), pelatihan operator, dan pengendalian mutu, serta mengevaluasi perubahan pengetahuan, kompetensi praktik operator inti, dan mutu kemasan. Istilah MAP-N₂ digunakan pada judul proposal sebagai arah teknologi, tetapi komposisi gas atau *residual oxygen* pada *headspace* tidak diukur; karena itu artikel ini melaporkan proses yang terverifikasi sebagai *nitrogen flushing*, bukan MAP yang tervalidasi. Sebanyak 25 peserta mengikuti *pretest* dan *posttest* menggunakan instrumen pilihan ganda 25 butir yang sama. Lima peserta yang ditetapkan sebagai operator inti dinilai dengan rubrik praktik sepuluh aspek. Mutu kemasan dibandingkan pada 10 kemasan proses konvensional mitra (K0) dan 10 kemasan setelah penerapan paket *continuous sealer* + *nitrogen flushing* + SOP + QC (K1). Rata-rata skor pengetahuan berubah dari 17,84±3,08 menjadi 21,08±2,34, dengan rata-rata selisih 3,24±1,56; $t(24)=10,37$, $p<0,001$, N-Gain 0,45, dan $d_z=2,07$. Lima operator inti mencapai kriteria kompeten dengan rata-rata nilai praktik 81,00%. Kelulusan uji rendam berubah dari 80% menjadi 100%, *rework* dari 20% menjadi 0%, proporsi kemasan dengan sedikitnya satu cacat dari 30% menjadi 10%, dan skor mutu dari 82,5% menjadi 92,5%. Pada tahap pilot, penerapan paket intervensi tersebut diikuti oleh peningkatan skor pengetahuan dan perbaikan indikator mutu kemasan; hasil tidak ditafsirkan sebagai bukti kausal maupun validasi MAP.

Kata kunci: bunga telang, *continuous sealer*, *nitrogen flushing*, mutu kemasan, pengendalian mutu

Abstract

Butterfly pea micro-, small-, and medium-sized enterprises in Sendangsari faced manual packaging, inconsistent seals, leakage risk, and limited use of an available continuous sealer. This community service program implemented nitrogen flushing integrated with a continuous sealer, standard operating procedures (SOPs), operator training, and quality control, and evaluated changes in knowledge, core-operator practical competence, and packaging quality. Although MAP-N₂ was used in the proposal title as the intended technology, headspace gas composition and residual oxygen were not measured; therefore, this article reports the verified process as nitrogen flushing rather than validated MAP. Twenty-five participants completed the same 25-item pretest and posttest. Five participants designated as core operators were assessed using a ten-aspect practical rubric. Packaging quality was compared between 10 packages produced using the partner's conventional process (K0) and 10 packages produced after the continuous sealer + nitrogen flushing + SOP + QC intervention (K1). The mean knowledge score changed from 17.84±3.08 to 21.08±2.34, with a mean paired difference of 3.24±1.56; $t(24)=10.37$, $p<0.001$, N-Gain=0.45, and $d_z=2.07$. All five core operators met the competence criterion, with a mean practical score of 81.00%. The immersion-test pass rate changed from 80% to 100%, rework from 20% to 0%, the proportion of packages with at least one defect from 30% to 10%, and packaging-quality scores from 82.5% to 92.5%. At this pilot stage, the

intervention was followed by improved knowledge scores and packaging-quality indicators; the findings are not interpreted as causal evidence or as validation of MAP.

Keywords: *butterfly pea, continuous sealer, nitrogen flushing, packaging quality, quality control*

PENDAHULUAN

Bunga telang (*Clitoria ternatea* L.) berkembang sebagai komoditas bioekonomi rumah tangga karena memiliki warna biru alami yang khas, dapat digunakan sebagai bahan minuman dan pewarna pangan, serta berpotensi mendukung diversifikasi produk Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM). Warna biru-ungu tersebut terutama berkaitan dengan kelompok antosianin terasilasi atau ternatin. Walaupun menarik secara komersial, kestabilan pigmen telang dipengaruhi oleh cahaya, suhu, pH, oksigen, dan kondisi penyimpanan. Dengan demikian, peningkatan produksi hulu perlu diikuti penguatan penanganan pascapanen dan pengemasan agar mutu visual maupun sensori produk tetap konsisten selama penyimpanan dan distribusi (Fu *et al.*, 2021; Vidana Gamage *et al.*, 2021).

Pada produk telang kering, kemasan tidak hanya berfungsi sebagai wadah, tetapi juga sebagai penghalang terhadap masuknya oksigen dan uap air. Produk kering yang bersifat higroskopis dapat menyerap kelembapan, menggumpal, mengalami perubahan aroma, dan menurun mutu bila material kemasan memiliki barrier rendah atau seal tidak utuh. Kajian pada produk bumbu daun kering menunjukkan bahwa jenis material kemasan dan kemampuan barrier berpengaruh terhadap perubahan kualitas selama penyimpanan (Usawakesmanee *et al.*, 2024). Oleh karena itu, keputusan mengenai material film, ruang kepala kemasan, dan integritas seal menjadi bagian penting dari sistem mutu produk telang.

Modified Atmosphere Packaging (MAP) merupakan pendekatan pengemasan yang mengubah komposisi gas di dalam kemasan untuk memperlambat jalur kerusakan mutu. Pada pengemasan produk kering, nitrogen lazim digunakan sebagai gas inert untuk menggantikan sebagian udara dan menurunkan paparan oksigen. Efektivitas MAP dipengaruhi oleh jenis produk, komposisi gas, sifat *barrier* material kemasan, kondisi penyimpanan, dan kemampuan kemasan mempertahankan atmosfer internal (Czerwiński *et al.*, 2021). Nitrogen *flushing* dilaporkan membantu mempertahankan karakter aroma dan menekan perubahan oksidatif pada produk

pangan tertentu, meskipun manfaat akhirnya tetap bergantung pada kesesuaian proses dan material kemasan (Agarwal *et al.*, 2018). Dalam artikel ini, MAP diperlakukan sebagai kerangka teknologi pada proposal, sedangkan proses yang benar-benar diverifikasi di lapangan adalah *nitrogen flushing* sebelum *continuous sealing*.

Penerapan *nitrogen flushing* tidak akan efektif apabila kemasan mengalami kebocoran mikro. Seal integrity dipengaruhi oleh suhu, tekanan, kecepatan atau *dwell time*, ketegangan film, kesesuaian lapisan *sealant*, serta kebersihan area *seal*. Partikel produk yang tertinggal pada jalur *sealing* dapat menghasilkan kanal kebocoran yang tidak selalu terlihat melalui inspeksi visual (Bamps *et al.*, 2019; Ilhan *et al.*, 2021). Pada teknologi *continuous sealer*, parameter proses bekerja secara simultan dan perlu ditetapkan dalam suatu zona operasi yang aman agar hasil *seal* konsisten. Pengaturan parameter yang tidak stabil dapat menghasilkan *seal* kurang kuat, tidak rata, gosong, atau memerlukan *rework* (Bamps *et al.*, 2023; Tannous *et al.*, 2023).

Ketersediaan alat di tingkat UMKM belum otomatis menghasilkan adopsi teknologi. Operator perlu memahami fungsi setiap parameter, menjalankan prosedur Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), melakukan pemeriksaan hasil, mencatat *batch*, dan menangani ketidaksesuaian. Sistem pengendalian mutu sederhana juga diperlukan agar keputusan *accept*, *rework*, atau *reject* tidak hanya mengandalkan perkiraan. Pada usaha pangan skala kecil dan menengah, keterbatasan kompetensi, dokumentasi, dan budaya mutu sering menjadi hambatan penerapan sistem keamanan serta konsistensi produk (Lee *et al.*, 2023; Spagnoli *et al.*, 2023). Pencatatan *batch* dan *traceability* minimal berperan dalam menelusuri sumber masalah, mendukung tindakan korektif, dan membangun kepercayaan pasar (Curto & Gaspar, 2021a, 2021b).

Mitra program di Sendangsari telah mengembangkan telang sebagai komoditas desa dan sebelumnya memperoleh pelatihan pengemasan manual menggunakan *hand sealer* serta bantuan *continuous sealer*. Namun, *continuous sealer* belum dioperasikan secara

terstruktur oleh calon pengguna, sedangkan *nitrogen flushing* belum diterapkan sebagai bagian dari proses rutin. Kondisi awal tersebut memunculkan kesenjangan adopsi: alat telah tersedia, tetapi *standard operating procedure* (SOP), setelah proses, kompetensi operator, uji kebocoran, dan pencatatan *batch* belum terintegrasi. Akibatnya, variasi kerapian dan kekuatan *seal* masih menjadi risiko bagi perluasan produksi dan distribusi. Judul proposal menggunakan istilah MAP-Nitrogen untuk menegaskan arah pengembangan teknologi, tetapi artikel ini membatasi pelaporan pada komponen yang telah terverifikasi, yaitu *nitrogen flushing*, *continuous sealing*, SOP, pelatihan, dan *quality control*.

Kebaruan program terletak bukan pada penggunaan nitrogen atau *continuous sealer* secara terpisah, melainkan pada integrasi keduanya ke dalam paket teknologi-kompetensi-mutu yang dapat dijalankan UMKM: *nitrogen flushing*, *continuous sealing*, SOP operasional, pelatihan berbasis praktik, dan *quality control* sederhana. Urgensinya adalah menutup kesenjangan antara ketersediaan alat dan kemampuan mitra mengoperasikan, memeriksa, serta mendokumentasikan hasil kemasan. Evaluasi program karena itu bergerak melampaui kepuasan peserta dengan mengukur perubahan pengetahuan, kemampuan praktik operator inti, dan hasil teknis kemasan. Pendekatan tersebut sejalan dengan evaluasi pembelajaran yang menilai perubahan pada tingkat pembelajaran dan perilaku, dengan tetap membatasi interpretasi sesuai desain implementatif tanpa kelompok pembandingan (Reio *et al.*, 2017).

Artikel ini bertujuan: (1) mendeskripsikan penerapan paket *nitrogen flushing* berbasis *continuous sealer* pada pengemasan produk telang; (2) menganalisis perubahan skor

pengetahuan peserta setelah pelatihan; (3) menilai kompetensi praktik lima operator inti; serta (4) membandingkan integritas *seal*, proporsi kemasan cacat, dan skor mutu kemasan antara proses konvensional dan paket intervensi. Tujuan tersebut diarahkan pada evaluasi perubahan dalam kelompok dan indikator teknis pilot, bukan atribusi kausal terhadap satu komponen intervensi.

SOLUSI/ TEKNOLOGI

1) Desain intervensi dan partisipasi mitra

Program dilaksanakan sebagai intervensi terapan berbasis kebutuhan mitra. Mitra ditempatkan sebagai *co-implementer* melalui keterlibatan dalam identifikasi masalah, penyiapan lokasi, penetapan operator inti, uji coba proses, evaluasi hasil, dan penyempurnaan SOP. Pendekatan partisipatif diperlukan agar teknologi tidak berhenti pada penyerahan alat, tetapi berkembang menjadi praktik kerja yang dapat dioperasikan dan dipelihara oleh kelompok. Pelatihan dan pendampingan utama dilaksanakan pada Sabtu, 4 Juli 2026 di aula Kalurahan Sendangsari, Kapanewon Pengasih, Kabupaten Kulon Progo, dengan melibatkan pelaku UMKM, pemerintah kalurahan, dosen, dan mahasiswa.

Pelaksanaan terdiri atas lima tahap yang berjalan secara iteratif, yaitu sosialisasi dan pemetaan risiko mutu, pelatihan, penerapan teknologi, pendampingan-evaluasi, dan penguatan keberlanjutan. Pada tahap awal, tim dan mitra memetakan alur penanganan produk telang, titik masuknya kelembapan dan oksigen, potensi kontaminasi *area seal*, variasi berat isi, dan kebutuhan dokumentasi *batch*. Hasil pemetaan digunakan untuk menyusun materi pelatihan, SOP, *setting card*, serta instrumen evaluasi.

Tabel 1. Tahapan program, kegiatan utama, luaran, dan indikator evaluasi

Tahap	Kegiatan utama	Luaran	Indikator
1. Sosialisasi	Pemetaan alur proses, risiko mutu, dan kesiapan sarana	Matriks kebutuhan dan pembagian peran	<i>Baseline</i> proses dan masalah teridentifikasi
2. Pelatihan	Prinsip <i>nitrogen flushing</i> , K3, <i>setting sealer</i> , SOP, QC, dan <i>traceability</i>	Materi, SOP, dan hasil <i>pretest-posttest</i>	Peningkatan pengetahuan peserta
3. Penerapan	Trial parameter, <i>nitrogen flushing</i> , <i>sealing</i> , label, dan <i>batch code</i>	Setting card dan <i>batch</i> uji	Seal konsisten dan proses dapat diulang
4. Pendampingan	Observasi praktik, uji kebocoran, inspeksi cacat, dan pencatatan	Rekap kompetensi dan mutu kemasan	Operator kompeten; cacat dan <i>rework</i> menurun

Tahap	Kegiatan utama	Luaran	Indikator
5. Keberlanjutan	Penetapan operator inti, <i>maintenance</i> , dan standardisasi berat isi	Struktur operator dan rencana perawatan	Proses dapat dijalankan tanpa tim eksternal

2) Paket *nitrogen flushing* dan *continuous sealer*

Teknologi yang benar-benar dioperasikan terdiri atas *continuous band sealer* milik mitra yang memiliki opsi integrasi nitrogen, tabung nitrogen, regulator dan pengatur aliran, selang-*nozzle flushing*, material kemasan *barrier*, timbangan, serta perangkat *quality control* sederhana. *Continuous sealer* digunakan untuk membentuk *seal* secara kontinu melalui kombinasi pemanasan dan penekanan, sedangkan nitrogen dialirkan ke ruang kepala kemasan sesaat sebelum jalur *seal* ditutup. Karena komposisi gas atau *residual oxygen* pada *headspace* tidak diukur, proses ini disebut *nitrogen flushing* dan tidak diperlakukan sebagai MAP yang telah tervalidasi.

Parameter proses yang dilatihkan meliputi suhu, kecepatan *belt*, tekanan *roller*, posisi kemasan, kebersihan jalur *seal*, posisi *nozzle*, serta urutan *start-up* dan *shutdown*. Setelan akhir dipilih secara empiris melalui trial sampai diperoleh garis *seal* yang rata, utuh, tidak gosong, tidak mudah terbuka, dan lolos pemeriksaan

kebocoran. Merek/model alat, struktur dan ketebalan film, kemurnian N₂, laju alir, durasi *flushing*, massa produk, volume/*headspace*, serta nilai numerik suhu dan kecepatan *belt* belum terdokumentasi secara sistematis pada tahap pilot. Karena itu, intervensi dapat direplikasi pada tingkat prosedur, tetapi belum pada tingkat parameter proses numerik; kekurangan dokumentasi ini dinyatakan sebagai keterbatasan penelitian.

Alur kerja yang distandardisasi meliputi penyiapan produk dan kemasan, penimbangan, *nitrogen flushing*, *continuous sealing*, inspeksi visual, uji kebocoran sampling, pelabelan dan pengkodean *batch*, kemudian penyimpanan. Pemeriksaan visual digunakan untuk mengenali cacat nyata, sedangkan uji rendam digunakan untuk mendeteksi indikasi kebocoran yang tidak selalu teridentifikasi melalui uji tekan manual. Kontribusi area *seal* terhadap permeabilitas kemasan menjadikan pengujian integritas *seal* relevan dalam pengendalian mutu kemasan fleksibel (Reinas et al., 2016).

Penyiapan produk dan kemasan → Penimbangan → N₂ *flushing* → *Continuous sealing* → QC *seal* dan uji kebocoran → Label/kode *batch* → Penyimpanan

Gambar 1. Alur penerapan *nitrogen flushing* dan *continuous sealing* pada produk telang

3) Pelatihan berbasis kompetensi dan pengendalian mutu

Pelatihan diikuti oleh 25 peserta. Materi mencakup prinsip pengemasan dengan nitrogen, sifat *barrier* kemasan, keselamatan tabung dan regulator, pengaturan *continuous sealer*, kebersihan area *seal*, penanganan cacat, uji kebocoran, kode *batch*, dan pencatatan mutu. Metode pelatihan menggabungkan penjelasan singkat, demonstrasi, praktik terbimbing, dan refleksi hasil. Lima peserta ditetapkan bersama mitra sebagai operator inti untuk keberlanjutan operasional dan kemudian mengikuti penilaian praktik. Penetapan tersebut bukan random sampling untuk mewakili seluruh peserta; karena itu, hasil kompetensi hanya diinterpretasikan untuk lima operator inti.

Rubrik praktik terdiri atas sepuluh aspek: persiapan area dan K3, persiapan produk dan kemasan, pengaturan *continuous sealer*, penyiapan sistem N₂, prosedur *flushing* dan

sealing, inspeksi visual, uji kebocoran, pengisian *logbook*, *troubleshooting*, serta *shutdown* dan perawatan ringan. Skor 4 menunjukkan kinerja mandiri, tepat, konsisten, dan aman; skor 3 menunjukkan kinerja tepat dan aman dengan kekurangan minor; skor 2 menunjukkan kebutuhan arahan atau koreksi teknis; dan skor 1 menunjukkan prosedur belum terpenuhi atau terdapat risiko keselamatan. Operator dinyatakan kompeten pada nilai minimal 75%, tanpa pelanggaran K3 kritis, dengan hasil kemasan memenuhi pemeriksaan dasar dan pencatatan *batch* selesai. Penilaian dilakukan dalam konteks praktik lapangan oleh asesor tim pelaksana tanpa blinding; reliabilitas antarpemilai dan validasi psikometrik formal rubrik belum dihitung, sehingga rubrik diposisikan sebagai instrumen evaluasi program.

Pengendalian mutu kemasan membandingkan dua paket proses. K0 adalah proses konvensional mitra menggunakan *hand*

sealer tanpa *nitrogen flushing*, sedangkan K1 adalah proses setelah intervensi yang menggabungkan *continuous sealer*, *nitrogen flushing*, SOP, pelatihan operator, dan *quality control*. Masing-masing kondisi menggunakan 10 kemasan sebagai unit analisis pada pengujian pilot internal; pengambilan sampel tidak dirancang sebagai sampling probabilistik dan struktur *batch*, hari produksi, serta operator tidak diperlakukan sebagai faktor analitik. Setiap kemasan diklasifikasikan cacat bila memiliki sedikitnya satu cacat dan dihitung satu kali pada proporsi kemasan cacat; jenis yang ditampilkan pada tabel adalah cacat dominan per kemasan. Evaluasi meliputi uji tekan, uji rendam, keputusan *accept/rework*, inspeksi cacat, dan skor mutu.

4) Instrumen dan analisis data

Pengetahuan peserta diukur menggunakan instrumen pilihan ganda 25 butir yang sama pada *pretest* dan *posttest*. Kisi-kisi dikembangkan dari materi pelatihan dan SOP yang mencakup prinsip *nitrogen flushing* dan pengemasan, operasi *continuous sealer*, kualitas *seal* dan *quality control*, K3, serta *batch record/traceability*. Jawaban benar diberi skor 1 dan jawaban salah 0; skor maksimum 25 dan dikonversi ke skala 0-100. Instrumen digunakan sebagai alat evaluasi program; validitas isi formal, uji coba terpisah, dan reliabilitas internal belum dilakukan. Penggunaan butir yang sama pada dua waktu pengukuran juga memungkinkan *testing effect* dan dipertimbangkan dalam interpretasi hasil.

Analisis *pretest-posttest* menggunakan statistik deskriptif, uji normalitas Shapiro-Wilk pada skor selisih, dan *paired-samples t-test*. Rata-rata selisih dilaporkan bersama standar deviasinya, sedangkan ukuran efek dihitung dengan *Cohen's d* $\bar{z}$. Normalized gain kelompok

dihitung dengan $g = (\text{rata-rata posttest} - \text{rata-rata pretest}) / (\text{skor maksimum} - \text{rata-rata pretest})$; kategori rendah ($<0,30$), sedang ($0,30 - <0,70$), dan tinggi ($\geq 0,70$) mengikuti Hake (1998). Nilai p digunakan untuk menilai perubahan berpasangan, bukan sebagai bukti kausal. Mutu kemasan dinilai pada sepuluh aspek dengan bobot sama dan skor 1–4 per aspek (maksimum 40): kerapian garis *seal*, keutuhan *seal*, kebersihan area *seal*, kondisi panas *seal*, kekuatan *seal* manual, kerapatan kemasan, keseragaman kemasan, kesesuaian *headspace*, keterbacaan label/kode *batch*, dan tampilan keseluruhan. Persentase mutu dihitung dari skor/40 $\times$ 100 dengan kategori sangat baik 85–100%, baik 70–84%, cukup 55–69%, dan kurang $<55\%$. Rubrik mutu merupakan perangkat QC internal dan belum menjalani validasi/reliabilitas formal. Mengingat $n=10$ per kondisi, hasil teknis diposisikan sebagai bukti pilot implementatif, bukan bukti kausal eksperimental.

HASIL DAN DISKUSI

1) Implementasi paket teknologi dan perubahan praktik kerja

Implementasi paket *nitrogen flushing–continuous sealing* yang disertai SOP, pelatihan, dan *quality control* diikuti oleh perubahan praktik kerja dari proses yang dominan mengandalkan keterampilan manual menuju alur yang lebih terstandardisasi. Peserta menjalankan urutan kerja mulai dari penyiapan area, pemeriksaan tabung dan regulator, penimbangan produk, *flushing*, *sealing*, inspeksi, hingga pencatatan *batch*. Setting card dan rubrik pemeriksaan digunakan untuk mengurangi variasi keputusan antaroperator. Pelaksanaan pelatihan dan keterlibatan peserta diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pelaksanaan pelatihan: (a) penyampaian materi pengemasan dan pemasaran; (b) partisipasi peserta.

Perubahan penting lainnya adalah pengenalan keputusan mutu *accept*, *rework*, dan

reject. Pada kondisi awal, kerapian visual berpotensi menjadi dasar utama penerimaan

kemasan. Setelah pendampingan, keputusan diperkuat dengan uji tekan dan uji rendam. Penggabungan pengujian tersebut penting karena kemasan dapat terlihat rapi tetapi masih memiliki kanal kebocoran mikro akibat kontaminasi atau ketidaksempurnaan jalur *seal* (Bamps *et al.*, 2019;

Ilhan *et al.*, 2023). Demonstrasi sistem *nitrogen flushing*, praktik pengoperasian *continuous sealer*, dan uji kebocoran sederhana didokumentasikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Demonstrasi dan praktik teknologi: (a) pengenalan sistem *nitrogen flushing*; (b) praktik pengoperasian *continuous sealer*.



Gambar 4. Pelaksanaan uji kebocoran sederhana pada hasil *sealing*.

2) Peningkatan pengetahuan peserta

Tabel 2. Hasil evaluasi pengetahuan peserta sebelum dan sesudah pelatihan

Indikator	Pretest	Posttest	Perubahan	Keterangan
Jumlah peserta	25	25	-	Data berpasangan
Rata-rata skor	17,84	21,08	+3,24 ± 1,56	Rata-rata ± SD skor selisih
Standar deviasi	3,08	2,34	-0,74	Sebaran <i>posttest</i> lebih kecil
Rata-rata nilai	71,36	84,32	+12,96 poin	Skala 0-100
Kategori baik	14 (56%)	23 (92%)	+36 poin persentase	Skor 18-25
N-Gain	-	-	0,45	g kelompok; kategori sedang (Hake, 1998)
Paired <i>t</i> -test	-	-	t(24)=10,37; p<0,001	95% CI selisih 2,60–3,88; non-kausal
Ukuran efek	-	-	d z=2,07	Efek sangat besar

Rata-rata skor berubah dari 17,84 menjadi 21,08, dengan rata-rata skor selisih 3,24±1,56 atau setara kenaikan nilai rata-rata 12,96 poin. Uji Shapiro-Wilk pada skor selisih menghasilkan $p=0,320$ sehingga asumsi normalitas tidak ditolak. Paired-samples *t*-test menunjukkan perbedaan berpasangan, $t(24)=10,37$, $p<0,001$, dengan interval kepercayaan 95% untuk rata-rata selisih 2,60–3,88. *Cohen's d_z* sebesar 2,07

menunjukkan perubahan yang besar pada kelompok yang sama; hasil ini tidak digunakan untuk menyatakan atribusi kausal karena tidak tersedia kelompok pembandingan.

Normalized gain kelompok sebesar 0,45 berada pada kategori sedang menurut batas Hake (1998). Nilai ini perlu dibaca bersama kondisi awal peserta yang sudah relatif baik; sebanyak 56% peserta berada pada kategori baik sebelum

pelatihan dan meningkat menjadi 92% sesudah pelatihan. Sebanyak 24 peserta memperoleh skor *posttest* lebih tinggi dan satu peserta mempertahankan skor 24 dari 25, sehingga tidak terdapat penurunan individual. Penggunaan butir yang sama pada *pretest* dan *posttest* tetap membuka kemungkinan *testing effect*.

Hasil kognitif dan hasil praktik dilaporkan sebagai dua luaran evaluasi yang berbeda.

Peningkatan skor pengetahuan tidak digunakan untuk menyimpulkan bahwa seluruh peserta telah kompeten mengoperasikan sistem, karena penilaian praktik hanya dilakukan pada lima operator inti. Kombinasi pengukuran kognitif dan performa memperluas informasi evaluasi program dibanding pengukuran kepuasan saja, tetapi hubungan individual antara kedua hasil tersebut tidak diuji (Reio *et al.*, 2017).

Tabel 3. Hasil penilaian kompetensi praktik operator inti

Aspek	Rata-rata skor	Kategori	Catatan
Persiapan area kerja dan K3	4,00	Sangat kompeten	Seluruh pemeriksaan dilakukan sesuai prosedur
Persiapan produk dan kemasan	3,00	Kompeten	Perlu konsistensi berat isi
Pengaturan <i>continuous sealer</i>	3,60	Kompeten-sangat kompeten	Setelan mesin dikuasai dengan baik
Penyiapan sistem N ₂	3,00	Kompeten	Prosedur aman dapat dijalankan
Flushing dan <i>sealing</i>	3,00	Kompeten	Urutan kerja tepat
Inspeksi visual hasil <i>seal</i>	3,80	Kompeten-sangat kompeten	Cacat utama dapat dikenali
Uji kebocoran	3,00	Kompeten	Keputusan QC dapat ditetapkan
Pengisian <i>logbook batch</i>	3,00	Kompeten	Konsistensi pencatatan masih perlu diperkuat
<i>Troubleshooting</i> dasar	3,00	Kompeten	Masalah umum dapat ditangani
<i>Shutdown</i> dan perawatan	3,00	Kompeten	Tidak memerlukan pendampingan ulang

3) Kompetensi praktik operator inti

Lima peserta yang ditetapkan bersama mitra sebagai operator inti seluruhnya memenuhi kriteria kompeten. Total skor berada pada rentang 32–33 dari skor maksimum 40, dengan rata-rata 32,40 atau nilai $81,00 \pm 1,37\%$. Tidak ditemukan pelanggaran K3 kritis. Aspek paling kuat adalah persiapan area kerja dan K3, inspeksi visual hasil *seal*, serta pengaturan *continuous sealer*. Karena operator inti bukan sampel acak dari 25 peserta, capaian 100% kompeten hanya berlaku pada lima orang tersebut dan tidak digeneralisasikan kepada seluruh peserta pelatihan.

Catatan *asesor* menunjukkan peserta bersemangat dan menikmati praktik. Kekurangan yang masih muncul terletak pada pencatatan dan konsistensi pengisian produk. Rekomendasi

tindak lanjut adalah pengendalian berat isi menggunakan timbangan digital, penetapan toleransi berat, dan pemeriksaan berkala yang dicatat pada *batch record*. Temuan tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan berikutnya bukan pelatihan ulang operasi dasar, melainkan peningkatan disiplin standardisasi dan dokumentasi.

Keterampilan mencatat sering dianggap sebagai komponen administratif, padahal pada produksi pangan skala kecil pencatatan berfungsi untuk memastikan *traceability* dan tindakan korektif. Sistem *traceability* yang sederhana perlu disesuaikan dengan kapasitas UMKM agar dapat dijalankan secara konsisten, bukan hanya tersedia sebagai dokumen (Curto & Gaspar, 2021a, 2021b).

Tabel 4. Perbandingan hasil uji kebocoran kemasan K0 dan K1

Perlakuan	n	Lulus uji tekan	Lulus uji rendam	Keputusan akhir
K0: proses konvensional	10	10 (100%)	8 (80%)	8 <i>accept</i> ; 2 <i>rework</i>
K1: paket intervensi	10	10 (100%)	10 (100%)	10 <i>accept</i> ; 0 <i>rework</i>
Perubahan	-	0 poin	+20 poin persentase	Rework berubah 20% menjadi 0%

4) Integritas seal dan keputusan mutu kemasan

Seluruh kemasan K0 dan K1 lolos uji tekan. Namun, dua kemasan K0 tidak lolos uji rendam dan memerlukan *rework*. Hasil ini menunjukkan bahwa uji tekan manual saja tidak cukup sensitif untuk mendeteksi seluruh indikasi kebocoran pada pilot ini. Pada K1, seluruh kemasan lolos kedua pengujian sehingga *accept rate* berubah dari 80% menjadi 100% dan *rework rate* dari 20% menjadi 0%.

Perbedaan tersebut dibaca sebagai hasil paket proses, bukan efek nitrogen tunggal. K0 menggunakan proses konvensional mitra, sedangkan K1 menggabungkan *continuous sealer*, *nitrogen flushing*, SOP, keterampilan operator, kebersihan area *seal*, dan inspeksi mutu. Literatur menunjukkan bahwa *seal integrity* terbentuk dari interaksi material, parameter proses, ketegangan film, dan kontaminasi, sehingga penjelasan berbasis paket proses lebih tepat daripada atribusi pada satu faktor (Ilhan et al., 2021; Ilhan et al., 2023).

Tabel 5. Jenis cacat kemasan sebelum dan sesudah intervensi

Jenis cacat	Pouch K0	% K0	Pouch K1	% K1
<i>Seal</i> bocor	2	20	0	0
<i>Seal</i> tidak rata	1	10	1	10
<i>Seal</i> gosong/meleleh	0	0	0	0
<i>Seal</i> terkontaminasi serbuk	0	0	0	0
Kemasan kempis/rusak	0	0	0	0
Label/kode <i>batch</i> tidak jelas	0	0	0	0
Kemasan dengan ≥ 1 cacat	3	30	1	10

Tabel 6. Skor mutu kemasan sebelum dan sesudah intervensi

Perlakuan	Jumlah sampel	Rata-rata total skor	Persentase mutu	Kategori
K0: proses konvensional	10	33 dari 40	82,5%	Baik
K1: paket intervensi	10	37 dari 40	92,5%	Sangat baik
Perubahan	-	+4 skor	+10 poin persentase	Naik satu kategori

5) Perubahan cacat dan skor mutu kemasan

Proporsi kemasan dengan sedikitnya satu cacat berubah dari 3/10 (30%) pada K0 menjadi 1/10 (10%) pada K1. Setiap kemasan dihitung satu kali berdasarkan cacat dominan, sehingga persentase tersebut merepresentasikan proporsi pouch cacat dan bukan jumlah kejadian cacat yang dapat terhitung ganda. Perubahan utama berasal dari tidak ditemukannya lagi dua kasus *seal* bocor pada K1. *Seal* tidak rata masih ditemukan pada satu kemasan di masing-masing kondisi, sehingga konsistensi pemasukan pouch, posisi terhadap *roller*, dan kontrol setelan tetap memerlukan perhatian.

Skor mutu kemasan merupakan rata-rata total skor sepuluh aspek yang berbobot sama, masing-masing dinilai 1–4 dengan skor maksimum 40 per kemasan. Rata-rata skor berubah dari 33 (82,5%; kategori baik) pada K0 menjadi 37 (92,5%; kategori sangat baik) pada K1. Sepuluh aspek tersebut mencakup kerapian garis *seal*, keutuhan *seal*, kebersihan area *seal*, kondisi panas *seal*, kekuatan *seal* manual, kerapian dan keseragaman kemasan, kesesuaian *headspace*, keterbacaan label/kode *batch*, serta tampilan keseluruhan. Karena rubrik merupakan alat QC internal yang belum divalidasi secara

formal, perbedaan skor diperlakukan sebagai indikator implementatif.

Hasil ini konsisten dengan rasional bahwa kemasan berkinerja baik memerlukan kesesuaian material, integritas *seal*, dan disiplin proses. Evaluasi kemasan pangan komersial juga menunjukkan bahwa atmosfer internal, aktivitas air, sifat mekanik, efisiensi material, serta kebutuhan pengguna dan produsen perlu dibaca sebagai satu sistem (Schmackler et al., 2024; Turan et al., 2024). Dalam konteks UMKM, perangkat *quality control* sederhana bernilai karena mengubah penilaian yang sebelumnya implisit menjadi keputusan yang terdokumentasi.

6) Sintesis dampak dan keberlanjutan program

Tiga kelompok hasil menunjukkan pola perbaikan yang berjalan paralel pada dimensi yang berbeda. Skor pengetahuan peserta berubah setelah pelatihan; lima operator inti memenuhi kriteria praktik; dan indikator teknis kemasan pada K1 lebih baik daripada K0 pada pilot yang dilakukan. Ketiga hasil tersebut tidak dianalisis sebagai jalur sebab-akibat karena hanya lima peserta menjalani penilaian praktik dan tidak terdapat pengaitan individual antara skor pengetahuan, performa operator, dan kemasan yang dihasilkan. Sintesis karena itu dibatasi pada konsistensi arah perubahan antarindikator.

Keberlanjutan program bergantung pada kemampuan mitra mempertahankan *setting card*, SOP, *logbook*, dan jadwal perawatan. Catatan *asesor* mengenai variasi berat isi menunjukkan bahwa standarisasi perlu diperluas dari *seal* menuju keseluruhan proses. Timbangan digital, toleransi berat, pemeriksaan awal-tengah-akhir *batch*, dan pencatatan produk *rework* menjadi tindak lanjut yang langsung dapat diterapkan. Kualitas kemasan juga dapat mendukung komunikasi nilai produk karena desain dan tampilan kemasan berpengaruh terhadap proses informasi serta keputusan pembelian konsumen (Shukla et al., 2022).

Pada tahap berikutnya, evaluasi perlu dilanjutkan dengan uji simpan komparatif untuk mengukur perubahan warna, aroma, kadar air atau aktivitas air, dan kecenderungan penggumpalan. Data tersebut diperlukan sebelum mitra menggunakan klaim “lebih awet” atau menetapkan *best before* baru. Kestabilan antosianin telang sensitif terhadap lingkungan penyimpanan, sehingga integritas kemasan merupakan prasyarat, tetapi bukan satu-satunya

bukti perpanjangan umur simpan (Fu et al., 2021; Vidana Gamage et al., 2021).

KESIMPULAN

Penerapan paket *nitrogen flushing* berbasis *continuous sealer* yang disertai SOP, pelatihan, dan *quality control* di Sendangsari diikuti oleh perubahan positif pada beberapa indikator evaluasi program. Rata-rata skor pengetahuan berubah dari $17,84 \pm 3,08$ menjadi $21,08 \pm 2,34$ dengan rata-rata selisih $3,24 \pm 1,56$; lima operator inti yang dinilai memenuhi kriteria kompeten dengan nilai praktik rata-rata 81,00%. Hasil tersebut menggambarkan perubahan dalam kelompok dan kesiapan lima operator inti, bukan efek kausal yang dapat digeneralisasikan kepada seluruh peserta.

Pada aspek teknis, kelulusan uji rendam berubah dari 80% menjadi 100%, *rework* dari 20% menjadi 0%, proporsi kemasan dengan sedikitnya satu cacat dari 30% menjadi 10%, dan skor mutu dari 82,5% menjadi 92,5%. Perubahan ini harus dibaca sebagai hasil paket proses yang mencakup *continuous sealer*, *nitrogen flushing*, SOP, keterampilan operator, dan *quality control*. Karena *residual oxygen/headspace* gas tidak diukur, artikel tidak menyatakan bahwa MAP telah tervalidasi atau bahwa umur simpan telah meningkat.

KETERBATASAN DAN REKOMENDASI

Evaluasi memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, desain *one-group pretest-posttest* tanpa kelompok kontrol hanya mendukung interpretasi perubahan dalam kelompok. Kedua, intervensi menggabungkan *continuous sealer*, *nitrogen flushing*, SOP, pelatihan, dan *quality control* sehingga kontribusi setiap komponen tidak dapat dipisahkan. Ketiga, komposisi gas dan *residual oxygen* pada *headspace* tidak diukur; karena itu, *nitrogen flushing* tidak disamakan dengan MAP yang tervalidasi. Keempat, merek/model alat, struktur dan ketebalan film, kemurnian N₂, laju alir, durasi *flushing*, massa produk, volume/*headspace*, serta setelan numerik mesin belum terdokumentasi sistematis. Kelima, sampling kemasan bersifat pilot internal, bukan probabilistik, dan *batch*/hari/operator tidak dimodelkan sebagai faktor analitik.

Keterbatasan pengukuran juga perlu diperhatikan. Instrumen pengetahuan, rubrik praktik, dan rubrik mutu dikembangkan untuk evaluasi program, tetapi belum menjalani validasi isi dan reliabilitas formal; rubrik praktik digunakan tanpa blinding dan tanpa estimasi

inter-rater reliability. Penggunaan butir *pretest-posttest* yang sama juga memungkinkan *testing effect*, sementara lima operator inti bukan sampel acak dari seluruh peserta. Program berikutnya perlu mendokumentasikan seluruh parameter proses per *batch*, menggunakan beberapa *batch*/hari produksi, menambah *residual oxygen*, *seal strength*, kadar air atau aktivitas air, serta warna instrumental, dan melaksanakan uji simpan komparatif sebelum mengklaim MAP tervalidasi atau perpanjangan umur simpan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas Negeri Yogyakarta melalui program Pengabdian kepada Masyarakat skema Mbangun Desa Tahun 2026 atas dukungan pelaksanaan kegiatan. Apresiasi disampaikan kepada Pemerintah Kalurahan Sendangsari, kelompok Global Gotong Royong Tetrapreneur (G2RT), pelaku UMKM telang, serta seluruh peserta yang terlibat dalam pelatihan, praktik, pencatatan, dan evaluasi mutu kemasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, D., Mui, L., Aldridge, E., Mottram, R., McKinney, J., & Fisk, I. D. (2018). The impact of nitrogen gas flushing on the stability of seasonings: Volatile compounds and sensory perception of cheese and onion seasoned potato crisps. *Food & Function*, 9(9), 4730–4741. <https://doi.org/10.1039/C8FO00817E>
- Bamps, B., D'huys, K., Schreib, I., Stephan, B., De Ketelaere, B., & Peeters, R. (2019). Evaluation and optimization of seal behaviour through solid contamination of heat-sealed films. *Packaging Technology and Science*, 32(7), 335–344. <https://doi.org/10.1002/pts.2442>
- Bamps, B., Buntinx, M., & Peeters, R. (2023). Seal materials in flexible plastic food packaging: A review. *Packaging Technology and Science*, 36(7), 507–532. <https://doi.org/10.1002/pts.2732>
- Czerwiński, K., Rydzkowski, T., Wróblewska-Krepsztul, J., & Thakur, V. K. (2021). Towards impact of modified atmosphere packaging (MAP) on shelf-life of polymer-film-packed food products: Challenges and sustainable developments. *Coatings*, 11(12), 1504. <https://doi.org/10.3390/coatings11121504>
- Curto, J. P., & Gaspar, P. D. (2021a). Traceability in food supply chains: Review and SME focused analysis-Part 1. *AIMS Agriculture and Food*, 6(2), 679–707. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2021041>
- Curto, J. P., & Gaspar, P. D. (2021b). Traceability in food supply chains: SME focused traceability framework for chain-wide quality and safety-Part 2. *AIMS Agriculture and Food*, 6(2), 708–736. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2021042>
- Fu, X., Wu, Q., Wang, J., Chen, Y., Zhu, G., & Zhu, Z. (2021). Spectral characteristic, storage stability and antioxidant properties of anthocyanin extracts from flowers of butterfly pea (*Clitoria ternatea* L.). *Molecules*, 26(22), 7000. <https://doi.org/10.3390/molecules26227000>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Ilhan, I., Turan, D., Gibson, I., & ten Klooster, R. (2021). Understanding the factors affecting the seal integrity in heat sealed flexible food packages: A review. *Packaging Technology and Science*, 34(6), 321–337. <https://doi.org/10.1002/pts.2564>
- Ilhan, I., ten Klooster, R., & Gibson, I. (2023). Effects of film tension and contamination on the seal quality of flexible food packaging films made of polypropylene and low-density polyethylene blends containing talc filler. *Packaging Technology and Science*, 36(1), 55–64. <https://doi.org/10.1002/pts.2692>
- Lee, J. C., Neonaki, M., Alexopoulos, A., & Varzakas, T. (2023). Case studies of small-medium food enterprises around the world: Major constraints and benefits from the implementation of food safety management systems. *Foods*, 12(17), 3218. <https://doi.org/10.3390/foods12173218>
- Reinas, I., Oliveira, J., Pereira, J., Mahajan, P., & Poças, F. (2016). A quantitative approach to assess the contribution of seals to the permeability of water vapour and oxygen in thermosealed packages. *Food Packaging and Shelf Life*, 7, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.01.003>
- Reio, T. G., Rocco, T. S., Smith, D. H., & Chang, E. (2017). A critique of Kirkpatrick's evaluation model. *New Horizons in Adult Education and Human Resource Development*, 29(2), 35–53. <https://doi.org/10.1002/nha3.20178>

- Schmackler, T., Müller, K., Tybussek, T., Jesdinszki, M., & Sänglerlaub, S. (2024). Evaluation of market-available snack chip packaging: Modified atmosphere packaging, water activity, mechanical properties, and efficiency of packaging material use. *Chemie Ingenieur Technik*, 96(3), 329–339. <https://doi.org/10.1002/cite.202300110>
- Shukla, P., Singh, J., & Wang, W. (2022). The influence of creative packaging design on customer motivation to process and purchase decisions. *Journal of Business Research*, 147, 338–347. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.04.026>
- Spagnoli, P., Jacxsens, L., & Vlerick, P. (2023). Towards a food safety culture improvement roadmap: Diagnosis and gap analysis through a conceptual framework as the first steps. *Food Control*, 145, 109398. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109398>
- Tannous, Q., Bereaux, Y., & Mousseau, P. (2023). Influence of process parameters on sealing strength of polymer films in an innovative continuous heat sealing technology. *Packaging Technology and Science*, 36(2), 135–146. <https://doi.org/10.1002/pts.2700>
- Turan, D., Keukens, B. M., & Schifferstein, H. N. J. (2024). Food packaging technology considerations for designers: Attending to food, consumer, manufacturer, and environmental issues. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(6). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70058>
- Usawakesmanee, W., Pisuchpen, S., Siripongvutikorn, S., Khatcharin, N., & Rujirapong, C. (2024). Packaging impact on quality changes of dried Liang leaf seasoning. *Heliyon*, 10(22), e40462. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40462>
- Vidana Gamage, G. C., Lim, Y. Y., & Choo, W. S. (2021). Anthocyanins from *Clitoria ternatea* flower: Biosynthesis, extraction, stability, antioxidant activity, and applications. *Frontiers in Plant Science*, 12, 792303. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.792303>