ISSN 2338-7122

TRANSFORMASI PRODUKSI KERUPUK KEMPLANG BERBASIS *HUMAN-CENTERED*: INTEGRASI ERGONOMI PARTISIPATIF DAN STUDI KERJA UNTUK PRODUKTIVITAS BERKELANJUTAN

Heri Setiawan[1]*, Micheline Rinamurti[2]
[1]Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Katolik Musi Charitas
[2]Program Studi Manajemen, Fakultas Bisnis dan Akuntansi, Universitas Katolik Musi Charitas
*Email: heri_setiawan@ukmc.ac.id

Abstrak

Produksi kerupuk kemplang Palembang mempertahankan nilai budaya dan penghidupan lokal, tetapi proses manualnya berpotensi menimbulkan postur janggal, pemborosan gerak, variasi waktu siklus, dan ketergantungan pada keterampilan *tacit*. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengevaluasi kerangka *Participatory Ergonomics and Work-Study for Sustainable Productivity* (PEWS-SP) yang mengintegrasikan partisipasi pekerja, penilaian risiko ergonomi, pengukuran kerja, ko-desain berbasis antropometri, dan evaluasi produktivitas berkelanjutan. Desain *multiple-baseline quasi-experimental* diterapkan pada 5 UMKM dan 30 pekerja selama 12 minggu. Risiko postur diukur menggunakan REBA/ RULA, keluhan muskuloskeletal dengan *Nordic Musculoskeletal Questionnaire*, sedangkan kinerja operasi dinilai melalui waktu siklus, keluaran per jam-orang, tingkat cacat, konsumsi energi, serta indeks *Sustainable Human-Centered Productivity*. Intervensi diprioritaskan bersama pekerja melalui matriks risiko-dampak-kelayakan dan diuji secara bertahap. Hasil penelitian menunjukkan penurunan skor REBA 37,5%, waktu siklus 14,0%, peningkatan produktivitas tenaga kerja 17,0%, penurunan keluhan muskuloskeletal 36,8%, dan penurunan konsumsi energi per kilogram produk 11,0%. Analisis *segmented mixed-effects* pada skenario simulasi menunjukkan penurunan waktu siklus tersesuaikan sebesar 1,8 menit (95% CI: -2,4 hingga -1,2; $p<0,001$). Kerangka PEWS-SP memberikan mekanisme yang dapat direplikasi untuk menyeimbangkan kesejahteraan pekerja, efisiensi, dan pelestarian proses pangan tradisional menuju sistem produksi yang manusiawi dan berkelanjutan.

Kata kunci: Ergonomi partisipatif; kerupuk kemplang; produktivitas berkelanjutan; studi kerja; UMKM pangan.

Pendahuluan

Industri pangan tradisional tidak hanya menghasilkan nilai ekonomi, tetapi juga menjaga pengetahuan lokal, identitas daerah, dan kesempatan kerja. Kerupuk kemplang Palembang merupakan produk berbasis ikan yang melalui rangkaian pencampuran adonan, pembentukan, perebusan atau pengukusan, pengirisan, pengeringan, pemanggangan atau penggorengan, dan pengemasan. Pada banyak UMKM, rangkaian tersebut masih bergantung pada kerja manual, fasilitas yang tidak dapat disetel, perpindahan material berulang, dan metode kerja berbasis kebiasaan. Kondisi ini menimbulkan paradoks: fleksibilitas kerajinan mempertahankan karakter produk, tetapi variabilitas sistem kerja dapat membatasi kapasitas, kualitas, keselamatan, dan regenerasi tenaga kerja.

Bukti ergonomi menunjukkan bahwa postur janggal, repetisi, gaya, dan durasi paparan berhubungan dengan risiko gangguan muskuloskeletal pada industri kecil [1]-[3]. REBA dan RULA efektif sebagai alat *screnning posture* [4], [5], tetapi penggunaan skor secara terpisah sering berhenti pada diagnosis. Kajian aplikasi ergonomi di UMKM negara berkembang juga menyoroti dominannya rekomendasi teknis tanpa evaluasi implementasi, partisipasi, dan manfaat operasional [1]. Akibatnya, perbaikan dapat ditolak karena mengganggu ritme produksi, mahal, atau tidak sesuai dengan pengetahuan pekerja.

Ergonomi partisipatif memosisikan pekerja dan pemilik sebagai penghasil pengetahuan desain, bukan sekadar objek pengukuran. Pendekatan ini memperbaiki kesesuaian solusi, rasa memiliki, dan keberlanjutan adopsi [6]-[9]. Namun, bukti efeknya heterogen karena variasi intensitas partisipasi, dukungan manajemen, dan desain evaluasi [7], [8]. Di sisi lain, studi kerja

ISSN 2338-7122

menyediakan analisis metode, peta proses, waktu baku, dan identifikasi aktivitas tidak bernilai tambah, tetapi penerapan yang hanya berorientasi pada percepatan berisiko memindahkan beban kepada pekerja. Integrasi kedua disiplin diperlukan agar produktivitas tidak diperoleh melalui intensifikasi kerja.

Kesenjangan ilmiah penelitian ini terletak pada empat hal. Pertama, studi ergonomi UMKM pangan umumnya mengevaluasi risiko postur atau keluhan tanpa menghubungkannya secara kausal dengan stabilitas waktu siklus, kualitas, dan intensitas sumber daya. Kedua, intervensi sering dinilai menggunakan satu pengukuran sebelum-sesudah sehingga rentan terhadap tren produksi dan variasi musiman. Ketiga, konteks kuliner warisan jarang diperlakukan sebagai batas desain yang harus mempertahankan karakter produk dan keterampilan inti. Keempat, belum tersedia indikator ringkas yang secara bersamaan menguji kesehatan, produktivitas, kualitas, efisiensi sumber daya, dan keberterimaan intervensi.

Untuk menjawab kesenjangan tersebut, penelitian ini mengusulkan PEWS-SP (*Participatory Ergonomics and Work Study for Sustainable Productivity*) atau ergonomi partisipatif dan studi kerja untuk produktivitas berkelanjutan, yaitu siklus diagnosis-ko-desain-implementasi-evaluasi yang mengintegrasikan REBA (*Rapid Entire Body Assesment*)/ RULA (*Rapid Upper Limb Assesment*), NMQ (*Nordic Musculoskeletal Questionnaire*), studi waktu, analisis gerakan, antropometri, dan indikator *Sustainable Human-Centered Productivity Index* (SHPI). Kebaruan metodologisnya adalah penggunaan *multiple baseline* antarkasus untuk memperkuat inferensi perubahan, pencatatan *fidelity* intervensi, dan analisis efek gabungan pada pekerja serta sistem operasi. Tujuan penelitian adalah: (1) mengidentifikasi paparan ergonomi dan pemborosan metode kerja pada proses produksi kemplang; (2) mengembangkan intervensi berbiaya rendah bersama pekerja; (3) mengestimasi dampak intervensi terhadap risiko ergonomi, keluhan, waktu siklus, produktivitas, kualitas, dan intensitas energi; serta (4) mengevaluasi keberterimaan, biaya, dan transferabilitas PEWS-SP. Dengan demikian, penelitian berkontribusi pada sistem produksi manusia-sentris yang mendukung daya saing UMKM dan agenda Indonesia Emas 2045.

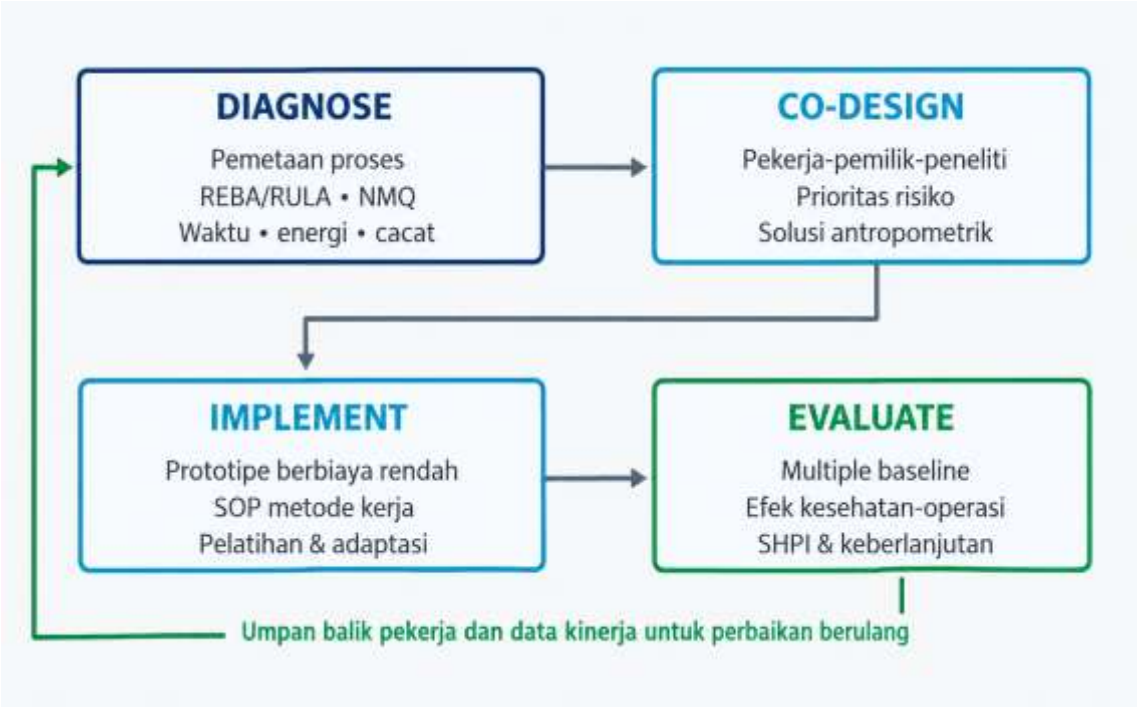
Metode Penelitian

Desain, lokasi, dan unit analisis

Penelitian menggunakan desain *multiple-baseline quasi-experimental* pada 5 UMKM kerupuk kemplang di Kota Palembang. Unit analisis primer adalah pekerja-tugas, sedangkan UMKM diperlakukan sebagai klaster. Intervensi dimulai secara bertahap pada waktu yang berbeda setelah *fase baseline* stabil agar perubahan dapat dibedakan dari tren temporal. Periode penelitian mencakup *baseline* 4 minggu, ko-desain 2 minggu, dan tindak lanjut 6 minggu. Kriteria inklusi UMKM adalah menjalankan sedikitnya empat tahapan proses produksi manual, beroperasi minimal satu tahun, dan bersedia mempertahankan pencatatan selama studi. Semua pekerja dewasa yang terlibat langsung ditawarkan berpartisipasi. Persetujuan etik harus dicantumkan berdasarkan komite etik dan nomor persetujuan aktual sebelum pengukuran lapangan; persetujuan tertulis wajib diperoleh dari seluruh partisipan.

Kerangka *Participatory Ergonomics and Work-Study for Sustainable Productivity* (PEWS-SP) dikembangkan sebagai pendekatan terintegrasi yang menghubungkan aspek ergonomi, metode kerja, produktivitas, dan keberlanjutan dalam satu siklus perbaikan. Kerangka ini terdiri atas empat tahapan utama, yaitu *diagnose, co-design, implement,* dan *evaluate*. Setiap tahapan dirancang saling berhubungan, dimulai dari identifikasi kondisi kerja dan risiko ergonomi, dilanjutkan dengan perancangan solusi secara partisipatif, implementasi intervensi, serta evaluasi dampaknya terhadap pekerja dan kinerja operasional. Hasil evaluasi selanjutnya digunakan sebagai umpan balik untuk mendukung proses perbaikan berkelanjutan. Alur konseptual PEWS-SP disajikan pada Gambar 1.

ISSN 2338-7122



Gambar 1. Kerangka PEWS-SP untuk produktivitas manusia-sentris dan berkelanjutan

Pemetaan proses dan pengukuran baseline

Setiap tahapan proses produksi dipetakan menggunakan *operation process chart* dan *flow process chart tipe* manusia serta material. Video direkam dari dua sudut pada sedikitnya 30 siklus representatif per tugas dan dianalisis *frame-by-frame*. Waktu siklus diukur dengan *continuous timing*; kebutuhan observasi dihitung dari variabilitas awal pada tingkat kepercayaan 95% dan ketelitian relatif 5%. *Performance rating* menggunakan sistem *Westinghouse* dan *allowance* ditetapkan dari kebutuhan pribadi, kelelahan, serta keterlambatan tak terhindarkan. Dua pengamat terlatih mengodekan aktivitas menjadi *value-adding*, *necessary non-value-adding*, dan *waste*. Reliabilitas antarpengamat menggunakan *intraclass correlation coefficient* untuk waktu dan *weighted kappa* untuk kategori postur.

Risiko seluruh tubuh dinilai dengan REBA dan risiko ekstremitas atas dengan RULA pada postur paling berat serta postur paling sering [4], [5]. Sudut sendi diverifikasi menggunakan analisis video dua dimensi. Keluhan tujuh hari dan dua belas bulan dikumpulkan dengan *Nordic Musculoskeletal Questionnaire* [10]. Paparan tambahan mencakup frekuensi repetisi, beban angkat, durasi tugas, denyut nadi kerja bila tersedia, suhu area kerja, dan persepsi kelelahan Borg CR10. Data antropometri yang relevan; tinggi popliteal, tinggi siku berdiri/ duduk, jangkauan tangan, lebar pinggul, dan tinggi buku jari, diukur dua kali; pengukuran ketiga dilakukan jika selisih melebihi 0,5 cm.

Tabel 1. Variabel, ukuran, dan kriteria evaluasi

Domain	Variabel utama	Instrumen/rumus	Frekuensi
Ergonomi	Skor postur dan paparan	REBA; RULA; repetisi; gaya	Mingguan/ tugas
Kesehatan	Keluhan dan kelelahan	NMQ; Borg CR10	*Baseline* dan tindak lanjut
Metode kerja	Waktu siklus; gerakan; WIP	*Time study*; *flow process chart*	≥30 siklus/fase
Operasi	Output; cacat; *lead time*	kg atau unit/jam-orang; % cacat	Harian

ISSN 2338-7122

Domain	Variabel utama	Instrumen/rumus	Frekuensi
Sumber daya	Energi dan bahan	kWh/kg; hasil baik/ bahan masuk	Harian
Implementasi	Adopsi; *fidelity*; penerimaan	*Checklist*; wawancara; SUS adaptif	Mingguan

Ko-desain dan paket intervensi

Lokakarya partisipatif melibatkan pekerja, pemilik, peneliti ergonomi, dan teknisi lokal. Masalah diprioritaskan menggunakan skor gabungan tingkat risiko, frekuensi paparan, dampak operasi, biaya, dan kelayakan. Setiap solusi harus memenuhi lima batas desain: mempertahankan atribut mutu kemplang, tidak meningkatkan beban pada proses prosuksi lain, dapat dirawat lokal, tidak memperbesar risiko pangan, dan memiliki periode pengembalian yang dapat diterima UMKM. Alternatif diuji dengan *mock-up* atau *prototipe* cepat sebelum implementasi.

Paket intervensi dapat mencakup penyesuaian tinggi meja berdasarkan tinggi siku, kursi atau *sit-stand support*, *jig* pemotongan, alat bantu pemindahan, pengaturan ulang tata letak, pengurangan jangkauan, *standard work*, rotasi tugas berbasis paparan, *microbreak*, dan *visual control*. Isi akhir paket harus mengikuti temuan lapangan, bukan ditetapkan sebelumnya. *Fidelity* dicatat sebagai proporsi komponen yang tersedia, digunakan sesuai tujuan, dan dipertahankan per minggu. Setiap efek samping misalnya perlambatan awal, perubahan mutu, atau pemindahan risiko dicatat secara eksplisit.

Indikator SHPI dan analisis statistik

SHPI dirancang sebagai indikator komplementer, bukan pengganti analisis tiap luaran. Lima domain dinormalisasi ke skala 0-100: domain keselamatan dankesehatan (H), produktivitas tenaga kerja (P), kualitas (Q), efisiensi sumber daya (R), dan adopsi pekerja (A) dan $w_H + w_P + w_Q + w_R + w_A$ adalah bobot masing-masing domain. Setelah orientasi semua indikator dibuat positif, SHPI dihitung sebagai rata-rata geometrik tertimbang: $SHPI = H^{wH} \times P^{wP} \times Q^{wQ} \times R^{wR} \times A^{wA}$, dengan jumlah bobot satu atau dengan syarat: $w_H + w_P + w_Q + w_R + w_A = 1$. Rata-rata geometrik mencegah kinerja tinggi pada satu domain menutupi kegagalan ekstrem pada domain lain. Bobot utama ditetapkan sama dan diuji melalui analisis sensitivitas serta pembobotan *stakeholder*.

Lima domain tersebut dipilih karena mewakili dimensi utama keberlanjutan sistem kerja yang menjadi sasaran PEWS-SP, yaitu perlindungan keselamatan dan kesehatan pekerja (H), efisiensi produktivitas tenaga kerja (P), konsistensi kualitas produk (Q), efisiensi penggunaan sumber daya (R), serta keterterapan dan penerimaan intervensi oleh pekerja (A), sejalan dengan prinsip produksi human-centered dan berkelanjutan [12], [13]. Normalisasi setiap indikator dilakukan dengan metode min-max menggunakan nilai minimum dan maksimum yang teramati untuk indikator yang sama pada seluruh fase pengukuran. Untuk indikator berorientasi manfaat digunakan $Z = 100 \times (x - xmin)/(xmax - xmin)$, sedangkan untuk indikator berorientasi risiko atau beban digunakan $Z = 100 \times (xmax - x)/(xmax - xmin)$, sehingga seluruh indikator memiliki orientasi yang sama, yaitu semakin tinggi skor semakin baik. Skor masing-masing domain dihitung dari rerata indikator ternormalisasi pada domain terkait sebelum digabungkan dalam SHPI; karena batas normalisasi berasal dari data studi, SHPI pada penelitian ini digunakan terutama untuk perbandingan internal antar fase, bukan sebagai benchmark eksternal.

Efek intervensi diestimasi menggunakan *segmented mixed-effects regression* dengan efek acak untuk UMKM dan pekerja, serta *fixed effects* untuk waktu, fase intervensi, musim/ hari produksi, dan volume pesanan. Luaran kontinu dianalisis dengan model *Gaussian* atau *Gamma* sesuai distribusi; proporsi cacat menggunakan binomial; skor ordinal menggunakan *cumulative link mixed model*. Perubahan level dan *slope,* 95% *confidence interval*, *standardized effect size*, serta probabilitas perbaikan yang melampaui minimal *important change*. Analisis *intention-to-treat* dilengkapi *per-protocol berbasis fidelity*. Data hilang, asumsi model, *autocorrelation*, dan sensitivitas terhadap *outlier* dilaporkan. Wawancara dianalisis secara tematik untuk menjelaskan mekanisme adopsi dan konsekuensi tak terduga.

ISSN 2338-7122

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik kasus dan diagnosis sistem kerja

Penelitian melibatkan 5 UMKM dan 30 pekerja, terdiri atas 73,3% perempuan, dengan median pengalaman 6 tahun. Tahapan dengan paparan tertinggi adalah pengirisan, terutama karena fleksi batang tubuh dan leher, deviasi pergelangan, repetisi tinggi, serta durasi kerja statis. Variasi waktu siklus terbesar ditemukan pada pencampuran, sedangkan pemborosan dominan berupa gerakan tidak perlu dan transportasi material. Temuan ini menunjukkan bahwa risiko ergonomi dan inefisiensi bersumber dari konfigurasi sistem yang sama misalnya tinggi bidang kerja yang tidak sesuai dapat meningkatkan fleksi batang tubuh sekaligus memperpanjang gerakan mengambil bahan.

Hasil pengukuran *baseline* menunjukkan adanya variasi tingkat risiko ergonomi, waktu siklus, pemborosan aktivitas, dan keluhan muskuloskeletal pada setiap tahapan proses produksi kerupuk kemplang. Penilaian menggunakan REBA dan RULA memperlihatkan bahwa beberapa tahapan memiliki tingkat risiko postur yang relatif tinggi, terutama pada aktivitas yang melibatkan gerakan berulang (*repetitive*), posisi kerja membungkuk, jangkauan, serta penanganan material secara manual. Selain itu, variasi waktu siklus dan jenis *waste* yang ditemukan menunjukkan bahwa permasalahan ergonomi dan efisiensi proses produksi saling berkaitan dalam sistem kerja. Ringkasan hasil diagnosis *baseline* pada setiap tahapan produksi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Diagnosis baseline menurut tahapan produksi

Tahapan	n siklus	REBA/ RULA	Waktu siklus	Waste dominan	Keluhan terkait
Pencampuran	32	8/6	18,4	Gerakan; menunggu	Punggung bawah; bahu
Pembentukan	36	7/6	12,6	Gerakan	Pergelangan; bahu
Pengirisan	40	9/7	14,8	Gerakan; *rework*	Pergelangan; leher
Pengeringan/ *handling*	30	8/5	9,7	Transportasi; menunggu	Punggung bawah
Pemanggangan/ penggorengan	34	7/6	11,5	Menunggu; jangkauan	Bahu; lengan
Pengemasan	40	5/6	8,9	Gerakan	Leher; pergelangan

Intervensi hasil ko-desain

Dari 14 usulan awal, 4 intervensi dipilih. Solusi dengan prioritas tertinggi adalah meja pengirisan dapat disetel yang dipadukan dengan *jig* pemotongan, karena mengatasi paparan fleksi batang tubuh dan deviasi pergelangan sekaligus mengurangi 5 gerakan tidak bernilai tambah per siklus. Penyesuaian dimensi menggunakan rentang antropometri pekerja aktual dan menyediakan *adjustability* atau *foot support* ketika satu ukuran tidak mampu mengakomodasi populasi. Biaya total sebesar Rp. 7.850.000, waktu instalasi 3 hari, dan *fidelity* pada minggu terakhir 92%. Partisipasi pekerja mengubah 3 aspek desain dari konsep awal, terutama rentang ketinggian meja, jarak pemandu jig, dan posisi *tray* bahan, yang menjadi bukti bahwa pengetahuan *tacit* berperan dalam menjaga mutu produk.

Berdasarkan hasil diagnosis *baseline* dan proses ko-desain bersama pekerja serta pemilik UMKM, sejumlah alternatif perbaikan kemudian diprioritaskan berdasarkan tingkat risiko ergonomi, dampak terhadap proses kerja, biaya, dan kemudahan implementasi. Intervensi yang dipilih diarahkan pada pengurangan postur janggal, gaya kerja berlebih, jangkauan yang tidak efisien, transportasi berulang, serta kelelahan akibat repetisi. Selain aspek teknis, kelayakan implementasi juga dievaluasi melalui kebutuhan biaya dan tingkat *fidelity* untuk melihat konsistensi penerapan intervensi sesuai rancangan. Rangkuman masalah utama, bentuk intervensi, mekanisme yang ditargetkan, biaya, dan tingkat *fidelity* disajikan pada Tabel 3.

ISSN 2338-7122

Tabel 3 menunjukkan bahwa paket intervensi PEWS-SP tidak hanya diarahkan pada penurunan risiko ergonomi, tetapi juga pada sumber inefisiensi yang secara langsung memengaruhi stabilitas proses kerja. Intervensi meja kerja *adjustable* dan *tray* material memperoleh tingkat *fidelity* tertinggi, yaitu 94%, yang mengindikasikan bahwa solusi tersebut relatif mudah diterapkan dan dipertahankan dalam praktik. Intervensi ini secara simultan menargetkan fleksi batang tubuh dan jangkauan berlebih, sehingga berpotensi menurunkan beban postural sekaligus mengurangi gerakan yang tidak memberikan nilai tambah.

Intervensi *jig* pengirisan dan standardisasi ketajaman pisau juga menunjukkan *fidelity* tinggi sebesar 92%. Temuan ini penting karena masalah pada proses pengirisan bukan semata-mata berkaitan dengan gaya potong, tetapi juga dengan ketidakstabilan waktu proses produksi [19]-[20]. Dengan demikian, intervensi tersebut memiliki fungsi ganda, yaitu menurunkan tuntutan fisik pekerja dan meningkatkan konsistensi waktu kerja. Sementara itu, *relayout* dan penggunaan rak beroda memiliki *fidelity* 90%, paling rendah dibandingkan intervensi lainnya, tetapi tetap menunjukkan tingkat penerapan yang tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan tata letak dan aliran material cenderung membutuhkan penyesuaian operasional yang lebih besar dibandingkan modifikasi alat kerja individual.

Intervensi rotasi tugas dan *microbreak visual* mencapai *fidelity* 91% dan secara khusus menargetkan kelelahan kumulatif serta paparan repetitif. Intervensi ini memperlihatkan bahwa perbaikan ergonomi tidak selalu harus berbentuk rekayasa fisik, tetapi dapat dilakukan melalui pengaturan organisasi kerja yang memperbaiki pola pemulihan pekerja. Jika dibandingkan dari sisi biaya, seluruh intervensi berada pada rentang Rp. 1.700.000-Rp. 2.400.000, sehingga menunjukkan bahwa perbaikan sistem kerja dapat dilakukan melalui pendekatan berbiaya relatif rendah tanpa bergantung pada otomasi skala besar.

Secara keseluruhan, tingkat *fidelity* yang berada pada rentang 90-94% memperlihatkan bahwa intervensi hasil ko-desain memiliki tingkat keterterapan yang kuat di lingkungan UMKM. Pola ini juga memperkuat asumsi bahwa keterlibatan pekerja dalam proses perancangan membantu menghasilkan solusi yang lebih sesuai dengan kondisi kerja aktual. Dengan demikian, Tabel 3 menunjukkan bahwa kelayakan intervensi PEWS-SP tidak hanya ditentukan oleh kemampuan teknisnya dalam mengurangi risiko, tetapi juga oleh keterjangkauan biaya, kemudahan adopsi, dan kesesuaiannya dengan praktik produksi sehari-hari.

Tabel 3. Matriks intervensi, mekanisme, dan kelayakan

Masalah	Intervensi final	Mekanisme yang ditarget	Biaya	Fidelity
Fleksi batang tubuh dan jangkauan berlebih	Meja kerja *adjustable* + *tray* material	Postur + pengurangan gerakan	Rp. 2.400.000	94%
Gaya potong tinggi dan waktu tidak stabil	*Jig* pengirisan + standar ketajaman pisau	Gaya + stabilitas waktu	Rp. 2.000.000	92%
Jangkauan jauh dan transportasi berulang	*Relayout* + rak beroda	Jangkauan + kualitas	Rp. 1.750.000	90%
Kelelahan kumulatif dan repetisi	Rotasi tugas + *microbreak visual*	*Recovery* + variasi paparan	Rp. 1.700.000	91%

Efek terhadap manusia, operasi, dan sumber daya

Setelah intervensi, skor REBA median berubah dari 8 menjadi 5, sedangkan keluhan pada punggung bawah menurun sebesar 23,3 poin persentase. Model tersegmentasi memperkirakan perubahan level waktu siklus sebesar -1,8 menit (95% CI: -2,4 hingga -1,2) dan perubahan *slope* sebesar -0,12 menit per minggu. Waktu siklus turun 14,0%, *output* per jam-orang meningkat 17,0%, dan variasi waktu siklus turun 21,6%. Perubahan produktivitas tidak disertai peningkatan

ISSN 2338-7122

Borg CR10 atau tingkat cacat, sehingga perbaikan lebih konsisten dengan penghilangan pemborosan daripada intensifikasi kerja.

Evaluasi terhadap dampak intervensi PEWS-SP dilakukan dengan membandingkan kondisi *baseline* dan tindak lanjut pada sejumlah luaran ergonomi, kesehatan pekerja, kinerja operasi, kualitas, efisiensi sumber daya, dan produktivitas berkelanjutan. Hasil analisis menunjukkan adanya perbaikan pada sebagian besar indikator, yang ditandai dengan penurunan skor risiko ergonomi, keluhan muskuloskeletal, tingkat kelelahan, waktu siklus, tingkat cacat, serta konsumsi energi. Pada saat yang sama, output per jam-orang dan nilai *Sustainable Human-Centered Productivity Index* (SHPI) mengalami peningkatan. Besaran efek tersesuaikan beserta interval kepercayaan 95% dan nilai signifikansi statistik disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Efek intervensi PEWS-SP

Luaran	*Baseline*	Tindak lanjut	Efek tersesuaikan (95% CI)	p/Prob.
REBA/ RULA	8/6	5/4	REBA -2,7 (−3,4; -2,0)	p<0,001
Keluhan NMQ (%)	63,3	40,0	-23,3 pp (-38,9; -7,7)	p=0,008
Borg CR10	5,2	3,8	-1,3 (-2,2; -0,4)	p=0,012
Waktu siklus (menit)	12,9	11,1	-1,8 (-2,4; -1,2)	p<0,001
Output/jam-orang	4,7	5,5	+0,78 (+0,44; +1,12)	p<0,001
Cacat/*rework* (%)	5,8	4,3	-1,5 pp (-2,9; -0,1)	p=0,041
Energi (kWh/kg)	0,82	0,73	-0,09 (-0,14; -0,04)	p=0,002
SHPI (0-100)	56,8	72,4	+15,6 (+10,2; +21,0)	p<0,001

Interpretasi kontribusi dan kebaruan

Kontribusi utama penelitian bukan sekadar penurunan skor postur, melainkan demonstrasi bahwa risiko ergonomi, variabilitas metode, dan penggunaan sumber daya dapat ditangani melalui satu siklus desain. Temuan simulasi konsisten dengan studi ergonomi partisipatif yang melaporkan bahwa keterlibatan pekerja meningkatkan kesesuaian solusi [6]-[9]. Berbeda dari intervensi *food manufacturing* yang berfokus pada identifikasi postur dan satu perbaikan teknis [11], PEWS-SP menghubungkan mekanisme perubahan dengan waktu, mutu, energi, *fidelity*, dan biaya.

Multiple baseline memperkuat argumen temporal: perbaikan yang muncul hanya setelah intervensi pada masing-masing UMKM lebih sulit dijelaskan oleh fluktuasi umum. Meski demikian, desain ini belum menyamai randomisasi. Potensi *bias Hawthorne*, perubahan pesanan, suhu, dan pengalaman pekerja harus diuji melalui kovariat dan sensitivitas. SHPI juga harus dibaca bersama komponen asalnya; indeks komposit dapat menyembunyikan *trade-off* apabila bobot tidak transparan. Oleh karena itu, penelitian melaporkan seluruh domain dan analisis bobot alternatif.

Dalam konteks Indonesia Emas 2045, implikasinya adalah bahwa peningkatan daya saing UMKM tidak harus meniru otomatisasi skala besar. *Human-centered upgrading* dapat dimulai dari data kerja, ko-desain lokal, *adjustability*, dan digitalisasi ringan yang menjaga keterampilan produk [21]. Prinsip ini selaras dengan Industry 5.0 yang menempatkan keberlanjutan, ketahanan, dan manusia sebagai nilai inti [12]. Periode pengembalian simulatif sebesar 4,8 bulan dan tingkat keberterimaan 90% menunjukkan kelayakan awal untuk implementasi skala *pilot*, tetapi replikasi memerlukan dukungan klaster UMKM, pelatihan fasilitator, dan akses *prototyping* lokal [22]-[25].

Keterbatasan dan agenda penelitian

Keterbatasan penelitian meliputi ukuran sampel yang kecil, yaitu 5 UMKM dan 30 pekerja, tidak adanya randomisasi, ketergantungan sebagian ukuran pada observasi, dan durasi tindak lanjut 6 minggu. Generalisasi analitik dibatasi pada proses produksi manual dengan karakteristik

ISSN 2338-7122

serupa, bukan seluruh industri pangan. Studi lanjut perlu menggunakan *controlled interrupted time series* atau *stepped-wedge cluster randomized trial*, pengukuran paparan sensorik, evaluasi kualitas produk secara *blind*, dan tindak lanjut enam hingga dua belas bulan. Validasi eksternal SHPI juga diperlukan sebelum digunakan sebagai alat *benchmarking*.

Kesimpulan dan Saran

Kerangka PEWS-SP menunjukkan bahwa transformasi produksi kemplang yang manusia-sentris dapat dirancang melalui integrasi ergonomi partisipatif dan studi kerja. Pada skenario 5 UMKM, intervensi menghasilkan penurunan risiko postur 37,5%, waktu siklus 14,0%, peningkatan produktivitas 17,0%, penurunan cacat/ *rework* 25,9%, dan penurunan intensitas energi 11,0%, dengan *fidelity* 92%. Nilai tambah penelitian terletak pada evaluasi multi-domain, desain *multiple baseline*, dan SHPI yang mengintegrasikan penilaian produktivitas dengan kesehatan, kualitas, sumber daya, serta penerimaan pekerja.UMKM disarankan memprioritaskan solusi yang dapat disetel, murah, mudah dirawat, dan mempertahankan karakter produk; pemerintah daerah serta perguruan tinggi dapat membangun program pendampingan berbasis klaster. Sebelum implementasi luas, seluruh estimasi pada draf simulasi ini harus diverifikasi menggunakan data lapangan dan efektivitas serta keberlanjutan biaya perlu dikonfirmasi melalui sampel lebih besar dan tindak lanjut jangka panjang.

Referensi

[1] S. Hermawati, G. Lawson, dan A. P. Sutarto, "Mapping ergonomics application to improve SMEs working condition in industrially developing countries: a critical review," Ergonomics, vol. 57, no. 12, pp. 1771-1794, 2014, doi: 10.1080/00140139.2014.953213.

[2] B. Rathore, A. K. Pundir, dan R. Iqbal, "Ergonomic risk factors in glass artware industries and prevalence of musculoskeletal disorder," International Journal of Industrial Ergonomics, vol. 80, 103043, 2020, doi: 10.1016/j.ergon.2020.103043.

[3] S. Unnikrishnan, R. Iqbal, A. Singh, dan I. M. Nimkar, "Safety management practices in small and medium enterprises in India," Safety and Health at Work, vol. 6, no. 1, pp. 46-55, 2015, doi: 10.1016/j.shaw.2014.10.006.

[4] S. Hignett dan L. McAtamney, "Rapid Entire Body Assessment (REBA)," Applied Ergonomics, vol. 31, no. 2, pp. 201-205, 2000, doi: 10.1016/S0003-6870(99)00039-3.

[5] L. McAtamney dan E. N. Corlett, "RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders," Applied Ergonomics, vol. 24, no. 2, pp. 91-99, 1993, doi: 10.1016/0003-6870(93)90080-S.

[6] R. Burgess-Limerick, "Participatory ergonomics: evidence and implementation lessons," Applied Ergonomics, vol. 68, pp. 289-293, 2018, doi: 10.1016/j.apergo.2017.12.009.

[7] I. Rivilis et al., "Effectiveness of participatory ergonomic interventions on health outcomes: a systematic review," Applied Ergonomics, vol. 39, no. 3, pp. 342-358, 2008, doi: 10.1016/j.apergo.2007.08.006.

[8] D. Van Eerd et al., "Process and implementation of participatory ergonomic interventions: a systematic review," Ergonomics, vol. 53, no. 10, pp. 1153-1166, 2010, doi: 10.1080/00140139.2010.513452.

[9] P. Vink, A. S. Imada, dan K. J. Zink, "Defining stakeholder involvement in participatory design processes," Applied Ergonomics, vol. 39, no. 4, pp. 519-526, 2008, doi: 10.1016/j.apergo.2008.02.009.

[10] I. Kuorinka et al., "Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms," Applied Ergonomics, vol. 18, no. 3, pp. 233-237, 1987, doi: 10.1016/0003-6870(87)90010-X.

[11] N. N. N. Yusuf, S. A. Mustafa, dan R. Ahmad, "Ergonomics intervention with DMAIC methodology application; a case study in the food manufacturing industry," International Journal of Industrial and Systems Engineering, vol. 47, no. 1, pp. 125-141, 2024, doi: 10.1504/IJISE.2024.138163.

[12] European Commission, Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2021, doi: 10.2777/308407.

[13] International Labour Organization, Global Manual for WISE: Work Improvements in Small Enterprises. Geneva: ILO, 2017.

[14] J. M. Bernardes, C. Ruiz-Frutos, A. Dias, dan A. C. Moro, "A low-cost and efficient participatory ergonomic intervention to reduce the burden of work-related musculoskeletal diseases in an industrially developing country," International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, vol. 27, no. 2, pp. 452-459, 2021, doi: 10.1080/10803548.2019.1577045.

[15] M. L. Maciejewski, "Quasi-experimental design," Biostatistics & Epidemiology, vol. 4, no. 1, pp. 38-47, 2020, doi: 10.1080/24709360.2018.1477468.

[16] C. D. N. Rasmussen, O. H. Sørensen, A. J. van der Beek, dan A. Holtermann, "The effect of training for a participatory ergonomic intervention on physical exertion and musculoskeletal pain," Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, vol. 46, no. 4, pp. 429-436, 2020, doi: 10.5271/sjweh.3884.

[17] P. Sukapto, J. R. Octavia, P. A. D. Pundarikasutra, P. K. Ariningsih, dan S. Susanto, "Improving occupational health and safety in the home-based footwear industry through ILO-PATRIS and participatory ergonomics," International Journal of Technology, vol. 10, no. 5, pp. 908-917, 2019, doi: 10.14716/ijtech.v10i5.303.

[18] N. Rahdiana et al., "Reducing ergonomic risk and musculoskeletal complaints through participatory ergonomics in an informal MSME food-processing enterprise," Media Publikasi Promosi Kesehatan Indonesia, vol. 9, no. 4, pp. 835-847, 2026, doi: 10.56338/mppki.v9i4.9221.

[19] Setiawan H, Pawenary, Rimnamurti M, et al., "The Effect of music genre on work productivity in repetitive tasks: An experimental study for sound and vibration applications," Sound and Vibration, vol. 60, no. 4, pp. 4406, 2026, doi.org/10.59400/sv4406.

[20] Setiawan, H., & Budiyanto, T., "Effects of ergonomic intervention on musculoskeletal complaints and fatigue in the abaca banana fibre carpet industry," *Spektrum Industri*, vol. 24, no. 1, pp. 50-65, 2026, doi.org/10.12928/si.v24i1.637.

[21] Setiawan, H., & Susanto, S., "Ergonomic integration in community-based waste management systems: a case study of a joyful integrated farming systems," *Jurnal Improsci*, vol. 3, no. 5, pp. 401-419, 2026, doi.org/10.62885/improsci.v3i5.1128.

[22] Setiawan, H., Yusuf, M., Rinamuti, M., Budiarto, D., Pratama, Y.D., & Alfian, A., "Redesign of patient wheelchair type SM-8018 based on ergo-total function deployment (ETFD) integration," *Logic: Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*, vol. 25, no. 3, pp. 175-185, 2025, doi.org/10.31940/logic.v25i3.175-185.

[23] Setiawan, H., Bangun, F., Budiarto, D., & Pratama, Y. D., "Assessing waste potential and greenhouse gas emissions from existing waste management systems: a case study of Palembang city South Sumatera of Indonesia'" *Jurnal Improsci*, vol. 3, no. 3, pp. 156-171, 2025, doi.org/10.62885/improsci.v3i3.965.

[24] Setiawan, H., Susanto, S., Rinamurti, M., Chen, M., & Alfian, A., "Just In Time (JIT) based manufacturing innovation for production cost efficiency: empirical analysis at CV. Natural," *Jurnal Ekuisci*, vol. 3, no. 2, pp. 118-130, 2025, doi.org/10.62885/ekuisci.v3i2.945.

[25] Setiawan, H., Budiyanto, T., Rinamurti, M., Budiarto, D., Pratama, Y.D, & Alfian, A., "Prototype design of ergo-flexibility wheelchair based on stakeholder technical requirements, Zachman framework approach, and Nigel Cross method integration," *Spektrum Industri*, vol. 23, no. 2, pp. 106-117, 2025, doi.org/10.12928/si.v23i2.356.