ISSN 2338-7122

PENGEMBANGAN KERANGKA PERANCANGAN MAKROERGONOMI SISTEM PRODUKSI BATIK TULIS DI JAWA TIMUR

Ida Kusnawati Tjahjani[1], Mochammad Hatta[2]*

[1]Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya
[2]Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas 45 Surabaya
[1]Email: ida.tjahjani@unipasby.ac.id

Abstrak

Industri batik tulis merupakan sistem produksi berbasis keterampilan yang bergantung pada interaksi manusia, teknologi, organisasi, dan lingkungan kerja. Kajian ergonomi batik masih dominan pada level mikro melalui penilaian postur dan keluhan muskuloskeletal, sehingga akar masalah pada konfigurasi sistem kerja belum terintegrasi secara memadai. Artikel ini bertujuan mengembangkan kerangka konseptual makroergonomi untuk sistem produksi batik tulis di Jawa Timur dengan mengintegrasikan asesmen mikro ke dalam Macroergonomic Analysis and Design (MEAD). Artikel ini merupakan preliminary framework berbasis sintesis literatur, bukan laporan hasil validasi lapangan. Kerangka mengoperasionalkan dimensi manusia, teknologi, organisasi, lingkungan, dan kinerja; menempatkan Nordic Body Map, RULA/REBA, beban kerja fisiologis, pengukuran lingkungan, serta indikator produktivitas dan kualitas sebagai input diagnosis MEAD; dan menetapkan keluaran tiap tahap MEAD serta mekanisme prioritas redesign berdasarkan risiko ergonomi, dampak kinerja, biaya, dan kemudahan implementasi. Kebaruan metodologis dirumuskan sebagai alur *micro assessment - macro diagnosis - system redesign - empirical* validation, sedangkan kebaruan empiris belum diklaim sebelum data lapangan tersedia. Kerangka ini ditujukan untuk divalidasi pada beberapa sentra batik tulis Jawa Timur melalui pengukuran multi-siklus dan evaluasi sebelum-sesudah intervensi. Hasil empiris wajib diperoleh sebelum kesimpulan tentang efektivitas redesign dapat dibuat.

Kata kunci: Makroergonomi, Batik Tulis, Sistem Kerja, MEAD, Ergonomi Partisipatif

Pendahuluan

Industri mikro dan kecil memiliki posisi penting dalam struktur ekonomi Jawa Timur. Publikasi Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa kegiatan industri mikro dan kecil tersebar luas dan menyerap tenaga kerja dalam jumlah besar, sehingga perbaikan produktivitas, keselamatan, dan kualitas kondisi kerja mempunyai implikasi sosial-ekonomi yang nyata [1]. Pada industri batik, tekanan digitalisasi dan tuntutan keberlanjutan juga mendorong UMKM untuk memperkuat inovasi dan kinerja tanpa menghilangkan karakter kerajinan berbasis keterampilan [1].

Karakter manual batik tulis menimbulkan paparan ergonomi yang nyata. Penelitian pada aktivitas produksi batik menunjukkan keluhan muskuloskeletal dan risiko postur pada pekerjaan mencanting [2]. Studi REBA pada stasiun mencanting batik tulis pesisir juga menemukan tingkat risiko yang memerlukan tindakan perbaikan [3]. Pada Tatsaka Batik Banyuwangi, pekerja pencantingan dilaporkan mengalami keluhan pada leher bawah, lengan kanan, dan pergelangan tangan, dengan action level RULA yang menunjukkan perlunya perbaikan [4]. Temuan ini menunjukkan bahwa masalah ergonomi relevan pada ekosistem batik, tetapi mayoritas bukti masih berhenti pada level postur, keluhan, atau satu fasilitas kerja.

RULA, REBA, dan Nordic Body Map penting untuk mengidentifikasi paparan dan keluhan pada tingkat aktivitas, tetapi instrumen tersebut tidak dengan sendirinya menjelaskan mengapa paparan terus muncul. Postur membungkuk, misalnya, dapat dipengaruhi oleh tinggi fasilitas, tata letak, metode kerja, target produksi, pembagian kerja, waktu istirahat, kompetensi, dan kondisi ruang kerja. Kajian pewarnaan batik menunjukkan bahwa konfigurasi posisi tubuh dan fasilitas berkaitan dengan perbedaan risiko postur [5], sedangkan redesign meja pewarnaan yang

ISSN 2338-7122

menggabungkan kebutuhan pengguna dan analisis postur menunjukkan pentingnya menerjemahkan temuan mikro menjadi spesifikasi desain [6].

Kebutuhan integrasi tersebut konsisten dengan kajian workplace design pada UMKM manufaktur Indonesia yang menekankan bahwa desain tempat kerja perlu mencakup aspek fisik, lingkungan, keselamatan, dan karakteristik UMKM secara bersamaan [7][8]. Makroergonomi memberikan landasan yang lebih sesuai karena memandang sistem kerja sebagai sistem sosio-teknis yang terdiri atas manusia, teknologi, organisasi, dan lingkungan. Penerapan MEAD pada UMKM manufaktur dan sistem *make-to-order* menunjukkan ketidaksesuaian antar-subsistem dapat didiagnosis untuk menghasilkan alternatif perbaikan sistem, bukan hanya koreksi postur [9][10].

Perkembangan Industry 5.0 telah memperkuat orientasi tersebut. Sehingga literatur menempatkan *human-centricity*, ketahanan, dan keberlanjutan sebagai prinsip desain sistem produksi yang perlu mempertahankan kemampuan, kesejahteraan, partisipasi, dan otonomi manusia [11][12][13][14][15]. Pada konteks batik, konsep *human-centric cyber-physical production system* juga telah dibahas sebagai peluang peningkatan efisiensi tanpa meniadakan peran artisan [16]. Sementara itu, digital ergonomic assessment memperlihatkan potensi menghubungkan data fisik operator dengan pengambilan keputusan sistem produksi [17].

Berdasarkan sintesis, terdapat tiga kesenjangan, yaitu (1). Studi ergonomi batik masih dominan pada postur, keluhan muskuloskeletal, atau desain fasilitas tertentu [2][3][4][5]. (2). Kajian workplace design UMKM Indonesia telah menekankan perlunya integrasi aspek ergonomi dan lingkungan, tetapi belum membangun kerangka makro yang spesifik untuk sistem produksi batik tulis Jawa Timur [7][8] dan [10]. Literatur *human-centered manufacturing* berkembang pesat, namun aplikasi yang menghubungkan asesmen ergonomi mikro, diagnosis makro, redesign sistem, dan validasi empiris pada industri kerajinan batik masih terbatas [11][13][15][16].

Berdasar kesenjangan tersebut, penelitian ini dirumuskan melalui lima pertanyaan: (1). Bagaimana karakteristik sistem produksi batik tulis di Jawa Timur ditinjau dari aspek manusia, teknologi, organisasi, dan lingkungan? (2). Faktor makro apa yang berkontribusi terhadap risiko ergonomi dan kinerja sistem ? (3). Bagaimana MEAD dapat mengintegrasikan hasil RULA/REBA dan NBM dengan faktor organisasi, teknologi, dan lingkungan? (4). Alternatif redesign sistem kerja apa yang dapat dikembangkan dari diagnosis tersebut? dan (5). Bagaimana prioritas intervensi ditentukan berdasar risiko ergonomi, dampak kinerja, biaya, dan kemudahan implementasi?

Tujuan dan kontribusi. Tujuan artikel adalah mengembangkan kerangka *macroergonomic work system* untuk batik tulis Jawa Timur yang mengintegrasikan faktor manusia, teknologi, organisasi, lingkungan, dan kinerja melalui MEAD. Kontribusi teoritisnya adalah model kontekstual sistem kerja batik yang menempatkan keterampilan artisan sebagai bagian inti subsistem manusia. Kontribusi metodologisnya adalah alur *micro assessment - macro diagnosis - system redesign - empirical validation*, dengan RULA/REBA dan NBM diposisikan sebagai bukti diagnosis, bukan titik akhir analisis. Kontribusi praktisnya adalah prosedur pemilihan intervensi bertahap berdasarkan risiko, kinerja, biaya, dan kemudahan implementasi. Artikel ini belum mengklaim novelty empiris karena novelty dapat dinilai setelah validasi lapangan lintas sentra dilakukan.

Metode Pengembangan Kerangka dan Rencana Validasi Empiris

Status Naskah dan Desain.

Artikel ini merupakan pengembangan conceptual/ preliminary framework berbasis sintesis literatur dan perancangan protokol validasi, bukan laporan penelitian lapangan yang telah selesai. Pengembangan kerangka dilakukan dengan memetakan bukti ergonomi mikro pada batik, prinsip workplace design UMKM, studi penerapan MEAD, serta literatur human-centered manufacturing ke dalam struktur manusia-teknologi-organisasi-lingkungan-kinerja. Validasi empiris direncanakan menggunakan desain mixed-method yang bersifat explanatory dan participatory, dengan ISO 6385 sebagai rujukan prinsip umum perancangan sistem kerja [18].

ISSN 2338-7122

Lokasi, unit analisis, dan sampling. Validasi lapangan direncanakan pada tiga karakter sentra batik tulis di Jawa Timur, yaitu Sidoarjo, Madura, dan Banyuwangi. Unit analisis mencakup pengrajin pada proses utama, pemilik/pengelola, serta elemen pendukung sistem kerja. Kriteria pengrajin adalah terlibat langsung dalam produksi batik tulis dan memiliki masa kerja sekurang-kurangnya enam bulan. Teknik sampling direncanakan secara purposive dengan representasi proses mencanting, pewarnaan, pelorodan/pengeringan, dan finishing; pada UMKM dengan jumlah pekerja kecil, total sampling lebih diutamakan. Jumlah responden final, response rate, dan distribusi per proses wajib dilaporkan pada versi empiris setelah population frame tersedia dan tidak diasumsikan dalam artikel konseptual ini.

Pengumpulan data. Data manusia meliputi pengalaman, jam kerja, waktu istirahat, keluhan muskuloskeletal, beban kerja fisiologis, kompetensi, dan partisipasi. Data teknologi mencakup canting, sumber panas, kursi/meja, alat pewarnaan, alat bantu, pemeliharaan, dan kesesuaian fasilitas. Data organisasi mencakup pembagian kerja, target, SOP, rotasi, komunikasi, supervisi, pelatihan, insentif, serta fleksibilitas. Data lingkungan meliputi pencahayaan, temperatur, kelembapan, kebisingan, ventilasi, dan tata letak. Data kinerja meliputi waktu proses, output per operator-jam, defect/rework, dan keterlambatan.

Instrumen dan skoring. *Nordic Body Map (NBM)* digunakan untuk memetakan keluhan pada bagian tubuh dan dalam protokol ini dikodekan pada skala 1-4 dari tidak sakit sampai sangat sakit; hasil dilaporkan sebagai distribusi/frekuensi keluhan per bagian tubuh dan skor total. RULA digunakan untuk aktivitas yang dominan melibatkan anggota tubuh bagian atas, sedangkan REBA digunakan untuk aktivitas yang melibatkan seluruh tubuh. Pada setiap pekerja yang diobservasi, penilaian postur dilakukan pada sekurang-kurangnya tiga siklus kerja representatif untuk aktivitas utama agar hasil tidak bergantung pada satu cuplikan. Beban fisiologis dapat dinyatakan sebagai %CVL bila pengukuran denyut nadi memungkinkan. Pencahayaan, temperatur, kelembapan, dan kebisingan diukur dengan instrumen yang telah dikalibrasi, sedangkan tata letak dan ventilasi dinilai melalui observasi terstruktur.

Operasionalisasi variabel. Variabel penelitian dioperasionalkan pada Tabel 1 agar hubungan antara konstruk makro, indikator, instrumen, dan keluaran dapat ditelusuri secara eksplisit. RULA/REBA dan NBM merupakan data mikro yang masuk ke diagnosis makro bersama informasi teknologi, organisasi, lingkungan, dan kinerja.

Tabel 1. Operasionalisasi Variabel dan Indikator Pengukuran

Dimensi	Definisi Operasional	Indikator Utama	Instrumen/Skala	Output
Manusia	Kapasitas, paparan, dan keterlibatan pekerja	pengalaman; jam kerja/istirahat; NBM; %CVL; kompetensi; partisipasi	wawancara; NBM 1-4; denyut nadi; skala Likert	profil keluhan, beban, kompetensi, partisipasi
Teknologi	Kesesuaian alat dan fasilitas terhadap tugas/pengguna	dimensi; adjustability; maintenance; keamanan panas; akses bahan	observasi; checklist; RULA/REBA	peta ketidaksesuaian manusia-teknologi
Organisasi	Pengaturan kerja yang membentuk paparan dan koordinasi	target; pembagian kerja; SOP; rotasi; istirahat; supervisi; pelatihan	wawancara; dokumen; skala Likert	profil risiko/ ketidaksesuaian organisasi
Lingkungan	Paparan fisik dan konfigurasi ruang kerja	lux; suhu; RH; dB; ventilasi; layout	lux meter; thermo-hygrometer; sound level meter; observasi	profil paparan lingkungan
Kinerja	Hasil proses produksi yang relevan terhadap redesign	cycle time; output/operator-jam; defect; rework; keterlambatan	time study; catatan produksi	indikator produktivitas dan kualitas
Integrasi MEAD	Ketidaksesuaian lintas subsistem dan kebutuhan intervensi	variance/misfit; dampak risiko; dampak kinerja; biaya; kemudahan	matriks MEAD; skoring 1-5	alternatif dan skor prioritas redesign

Tahapan MEAD. MEAD dioperasionalkan tahap demi tahap, dengan keluaran yang dapat diaudit seperti diringkas pada Tabel 2. Urutan ini digunakan sebagai prosedur penelitian sehingga

ISSN 2338-7122

setiap rekomendasi redesign harus dapat ditelusuri kembali ke bukti pada subsistem manusia, teknologi, organisasi, lingkungan, dan kinerja.

Tabel 2. Tahapan Operasional MEAD dan Output Setiap Tahap

Tahap	Proses/analisis	Output
1	Menetapkan tujuan, batas sistem, stakeholder, dan indikator kinerja	batas sistem; tujuan; KPI
2	Memetakan fungsi, aliran proses, dan aktivitas kritis	process map; aktivitas prioritas observasi
3	Mengidentifikasi unit kerja dan subsistem teknologi	inventori alat/fasilitas; peta kesesuaian teknologi
4	Menganalisis subsistem manusia	NBM; RULA/REBA; %CVL; profil kompetensi/partisipasi
5	Menganalisis organisasi dan pengaturan kerja	peta peran; target; SOP; rotasi; komunikasi; supervisi
6	Menganalisis lingkungan kerja	profil lux, suhu, RH, dB, ventilasi, dan layout
7	Mengintegrasikan data dan mengidentifikasi variance/misfit	matriks ketidaksesuaian manusia-teknologi-organisasi-lingkungan
8	Menyusun alternatif redesign secara partisipatif	daftar alternatif intervensi dan kebutuhan sumber daya
9	Menilai dan memprioritaskan alternatif	bobot kriteria; skor prioritas; alternatif terpilih
10	Implementasi bertahap dan evaluasi sebelum-sesudah	perubahan risiko, kinerja, kualitas, dan penerimaan pekerja

Pembobotan prioritas redesign. Penentuan prioritas menggunakan *weighted scoring* yang transparan. Setiap alternatif dinilai pada skala 1 – 5 untuk penurunan risiko ergonomi (R), dampak terhadap kinerja (K), kemudahan implementasi (I), dan beban biaya (B). Agar arah seluruh kriteria konsisten, skor biaya ditransformasi menjadi C = 6 - B. Bobot wR, wK, wC, dan wI ditetapkan melalui expert judgment dan konsensus stakeholder, kemudian dinormalisasi sehingga jumlah bobot = 1. Skor prioritas dihitung sebagai P = wR(R) + wK(K) + wC(C) + wI(I). Versi empiris harus melaporkan bobot, skor tiap alternatif, dan dasar pemilihannya.

Validitas, Reliabilitas, dan Analisis. Validitas isi instrumen dan matriks penilaian dilakukan melalui expert judgment sedikitnya tiga ahli yang memahami ergonomi, sistem kerja, dan/atau industri batik. Reliabilitas item skala Likert diuji dengan Cronbach alpha. Data kuantitatif diringkas secara deskriptif; hubungan antarvariabel dapat diuji dengan korelasi atau regresi sesuai skala dan kecukupan data. Wawancara dianalisis melalui coding tematik dan ditriangulasi dengan observasi serta hasil pengukuran. Untuk evaluasi intervensi, indikator yang sama diukur sebelum dan setelah redesign pada aktivitas dan kondisi kerja yang sebanding; perubahan dapat diuji dengan uji berpasangan parametrik atau nonparametrik sesuai distribusi data.

Batas interpretasi. Karena data primer belum tersedia pada naskah ini, tidak ada skor RULA/REBA, NBM, lingkungan, %CVL, produktivitas, ranking intervensi, atau hasil before-after yang dibuat secara asumtif. Seluruh angka tersebut harus berasal dari pengumpulan data lapangan.

Sintesis Literatur dan Kerangka Konseptual

Hasil sintesis literatur menunjukkan pola risiko yang konsisten pada produksi batik: aktivitas manual berulang, postur statis, jangkauan, ketidaksesuaian fasilitas, dan durasi paparan [1][2][3][4]. Redesign meja pewarnaan yang mengintegrasikan analisis postur dan kebutuhan pengguna menunjukkan bahwa data ergonomi mikro dapat diterjemahkan menjadi spesifikasi fasilitas [6]. Temuan-temuan ini menjadi dasar untuk menempatkan desain fasilitas sebagai bagian dari keputusan sistem, bukan intervensi yang berdiri sendiri.

Pada dimensi manusia, kompetensi dan pengalaman merupakan aset utama karena kualitas batik tulis bergantung pada keterampilan artisan. Redesign karena itu diarahkan untuk

ISSN 2338-7122

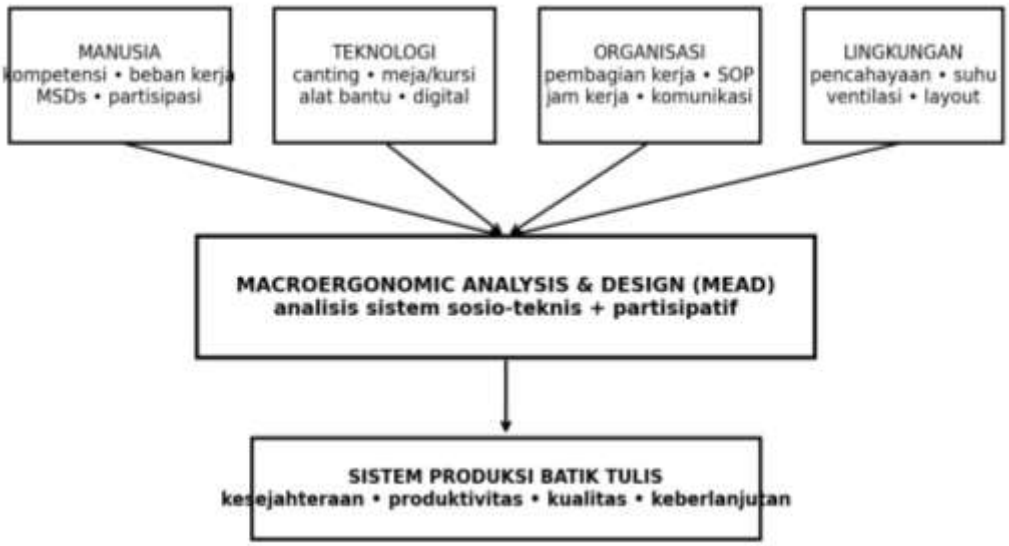
mengurangi paparan yang tidak perlu tanpa menghilangkan aktivitas bernilai tambah. Literatur Industry 5.0 menempatkan human-centricity sebagai penguatan kemampuan, kesejahteraan, partisipasi, dan kesesuaian teknologi dengan kebutuhan manusia [11][13][14][15][19]. Dalam konteks batik, implikasinya adalah fasilitas yang dapat disesuaikan, alat bantu untuk mengurangi beban statis, serta pelatihan yang mempertahankan keterampilan tradisional.

Pada dimensi teknologi, ketidaksesuaian dapat muncul ketika peralatan berkembang secara *ad hoc* mengikuti kebiasaan kerja. Redesign perlu mempertimbangkan adjustability, kemudahan perawatan, keamanan panas, aksesibilitas bahan, dan variasi pengguna. Teknologi digital lebih tepat ditempatkan secara bertahap pada fungsi pendukung seperti pencatatan produksi, persediaan, dokumentasi pola, atau pengumpulan data ergonomi. Digital ergonomic assessment menunjukkan bahwa data operator dan proses dapat dihubungkan dengan indikator risiko untuk mendukung keputusan [17].

Pada dimensi organisasi, risiko postur dapat diperkuat oleh target produksi, pembagian kerja, waktu istirahat, rotasi, dan supervisi. Studi MEAD pada sistem manufaktur menunjukkan bahwa faktor manusia, teknologi, organisasi, dan kinerja dapat didiagnosis dalam satu struktur analisis [3][10]. Pada batik tulis, intervensi organisasi yang perlu diuji mencakup microbreak, rotasi mikroproses yang realistis, standardisasi kerja yang fleksibel, pelatihan, serta mekanisme umpan balik pekerja.

Dimensi lingkungan perlu diperlakukan sebagai komponen desain sistem. Kajian workplace design UMKM Indonesia menunjukkan bahwa aspek lingkungan dan keselamatan belum selalu terintegrasi secara memadai [8]. Pada proses batik, panas dari sumber api, ventilasi, pencahayaan, kebisingan, dan keterbatasan ruang dapat memengaruhi beban fisik, kenyamanan, ketelitian, dan kualitas. Karena itu, pengukuran lingkungan perlu dianalisis bersama data postur dan organisasi, bukan hanya sebagai pemeriksaan kepatuhan.

Integrasi empat dimensi menghasilkan kerangka *macroergonomic work system* pada Gambar 1. Manusia, teknologi, organisasi, dan lingkungan diperlakukan sebagai subsistem yang saling berinteraksi, sedangkan MEAD menjadi mekanisme untuk mengidentifikasi variance/misfit, mengembangkan alternatif redesign, dan mengevaluasi dampak pada kesejahteraan pekerja, produktivitas, kualitas, serta keberlanjutan. Orientasi ini konsisten dengan human-centered manufacturing [11][13][15].



Gambar 1. Kerangka Konseptual Penelitian

Posisi Novelty

Kebaruan teoritis naskah adalah kontekstualisasi macroergonomic work system pada batik tulis dengan keterampilan artisan sebagai elemen inti. Kebaruan metodologisnya adalah *alur micro*

ISSN 2338-7122

assessment - macro diagnosis - system redesign - empirical validation. Kebaruan empiris belum diklaim karena validasi lapangan belum dilakukan. Kontribusi praktis berupa mekanisme pemilihan intervensi yang menggabungkan risiko ergonomi, kinerja, biaya, dan kemudahan implementasi. Dengan pemisahan ini, kontribusi artikel tidak bergantung pada klaim hasil lapangan yang belum tersedia.

Tabel 3. Kandidat Alternatif Redesign untuk Diuji Secara Empiris

Kode	Masalah sistem hipotetik	Alternatif redesign	Indikator evaluasi
A1	postur statis dan fasilitas tidak sesuai	workstation adjustable + standard kerja	RULA/REBA; NBM; cycle time
A2	paparan terlalu lama pada aktivitas yang sama	rotasi mikroproses + microbreak	keluhan; fatigue; output
A3	ventilasi/pencahayaan tidak memadai	perbaikan lingkungan + layout	lux; suhu; RH; kenyamanan
A4	pembagian kerja/target tidak seimbang	redistribusi beban + penjadwalan	%CVL; output; rework
A5	data produksi/ergonomi tidak terdokumentasi	pencatatan digital sederhana	ketepatan data; waktu administrasi

Tabel 3 tidak menunjukkan ranking empiris. Seluruh masalah dan intervensi pada tabel merupakan kandidat hipotesis yang diturunkan dari sintesis literatur. Ranking baru boleh dibuat setelah data lapangan tersedia dan skor prioritas dihitung dengan prosedur pembobotan pada bagian metode.

Perbandingan dengan penelitian terdahulu memperjelas posisi kerangka. Safitri dan Siregar [2], Bakhtiar et al. [3], dan Amelia et al. [4] memberikan bukti tentang risiko ergonomi pada aktivitas batik, termasuk pencantingan di Banyuwangi, tetapi fokus utamanya berada pada postur dan keluhan. Siswiyanti et al. [5] membahas kombinasi postur pada pewarnaan, sedangkan Muslimah et al. [6] mengintegrasikan NBM, analisis postur, dan QFD untuk redesign meja pewarnaan. Kerangka yang diusulkan memperluas level analisis dengan menjadikan hasil mikro sebagai input diagnosis MEAD bersama faktor organisasi, lingkungan, dan kinerja.

Kerangka juga menghubungkan makroergonomi dengan human-centered manufacturing. Kajian Industry 5.0 pada batik menunjukkan peluang pemanfaatan teknologi tanpa menghilangkan peran artisan [16]. Literatur SME 5.0 menekankan hambatan berupa kesiapan keterampilan, resistensi terhadap perubahan, kebutuhan partisipasi, dan kolaborasi organisasi [11][14][15]. Karena itu, roadmap perbaikan yang diusulkan dimulai dari diagnosis sistem, perbaikan fasilitas dan organisasi, peningkatan kompetensi, kemudian digitalisasi bertahap sesuai kebutuhan dan kesiapan sistem.

Secara praktis, alternatif intervensi dapat dikelompokkan menjadi quick wins berbiaya rendah, intervensi menengah, dan intervensi lanjut, tetapi urutan final tidak ditetapkan sebelum weighted scoring dilakukan. Contoh *quick wins* yang perlu diuji adalah penyesuaian tinggi fasilitas, penataan alat/bahan, *microbreak*, rotasi kerja, dan perbaikan pencahayaan. Intervensi menengah meliputi redesign workstation dan standardisasi proses, sedangkan intervensi lanjut dapat berupa pencatatan digital, sensor sederhana, atau sistem pendukung keputusan ergonomi. Prinsipnya, tingkat teknologi mengikuti kebutuhan manusia dan organisasi [11][13][15].

Rencana pelaporan hasil empiris. Pada tahap validasi, naskah empiris harus menyajikan sekurang-kurangnya: persentase/frekuensi keluhan NBM per bagian tubuh; skor dan action level RULA/REBA; lux, temperatur, RH, dan dB; %CVL bila diukur; output per operator-jam; defect/rework; matriks variance/misfit MEAD; bobot dan skor prioritas redesign; serta perubahan before-after setelah intervensi. Pengukuran diulang pada beberapa siklus produksi dan dibandingkan antar-sentra untuk memisahkan faktor yang bersifat umum dari faktor yang spesifik lokasi. Data tersebut menjadi prasyarat sebelum efektivitas intervensi atau novelty empiris diklaim.

ISSN 2338-7122

Tabel 4. Proposisi yang Dapat Diuji pada Tahap Validasi Lapangan

Kode	Proposisi penelitian	Dasar Teoritis
P1	Ketidaksesuaian faktor manusia-teknologi meningkatkan risiko ergonomi.	ISO 6385 [19]; MEAD [3] [9]
P2	Ketidaksesuaian organisasi dan beban kerja memperkuat paparan ergonomi.	MEAD [3] [9]
P3	Kondisi lingkungan yang tidak sesuai meningkatkan fatigue dan menurunkan kenyamanan.	workplace design [2] [14]
P4	Partisipasi pekerja meningkatkan kesesuaian dan penerimaan redesign.	human-centered [5] [7] [13]
P5	Integrasi manusia-teknologi-organisasi-lingkungan meningkatkan kinerja sistem.	macroergonomics; Industry 5.0 [6] [7]

Keterbatasan. Keterbatasan utama naskah adalah belum tersedianya data primer untuk memvalidasi hubungan antar variabel, menentukan ranking intervensi, dan mengukur efek redesign. Oleh karena itu, kerangka ini harus diperlakukan sebagai model konseptual dan protokol penelitian. Kekuatan ilmiahnya pada tahap ini terletak pada kejelasan konstruk, alur diagnosis, dan keterlacakan metode; klaim empiris menunggu pelaksanaan validasi lapangan.

Kesimpulan dan Saran

Artikel ini menghasilkan kerangka konseptual makroergonomi untuk sistem produksi batik tulis Jawa Timur yang mengintegrasikan manusia, teknologi, organisasi, lingkungan, dan kinerja melalui MEAD. Asesmen mikro seperti RULA/REBA dan NBM diposisikan sebagai input diagnosis sistem, bukan sebagai hasil akhir. Kontribusi metodologis utama adalah alur micro assessment - macro diagnosis - system redesign - empirical validation, disertai operasionalisasi variabel, keluaran tiap tahap MEAD, dan metode pembobotan prioritas redesign. Karena data lapangan belum tersedia, artikel ini tidak menyimpulkan skor risiko, ranking intervensi, maupun efektivitas redesign. Penelitian lanjutan harus melaksanakan validasi lintas sentra, melaporkan jumlah sampel dan observasi aktual, mengukur indikator ergonomi-lingkungan-kinerja, serta melakukan evaluasi sebelum-sesudah intervensi sebelum novelty empiris atau efektivitas model dapat dinyatakan.

Referensi

[1] Badan Pusat Statistik. Provinsi Jawa Timur., “Profil Industri Mikro dan Kecil Provinsi Jawa Timur 2023 dan 2024,” 2025.
[2] E. M. Safitri and M. Siregar, “Analisis Postur Kerja pada Aktivitas Produksi Kain Batik dengan Menggunakan Metode Rapid Upper Limb Assessment (Studi Kasus Pada UMKM Sembung Batik , Kulon Progo , Yogyakarta),” *J. Rekayas Ind.*, vol. 5, no. 2, pp. 132–139, 2023.
[3] B. Bakhtiar, T. Trisna, and N. Normi, “Analisis keluhan musculoskeletal disorders (Msds) menggunakan metode reba pada pekerja stasiun mencanting di industri kain batik tulis pesisir Analysis of musculoskeletal disorders (Msds) complaints using the reba method in workers at the mencanting s,” *JENIUS*, vol. 5, no. November, pp. 278–288, 2024, doi: 10.37373/jenius.v5i2.1397.
[4] F. P. Amelia, A. Paramaditya, and W. A. Endah, “Analisis Postur Kerja Terhadap Keluhan Musculoskeletal Disorders (MSDs) Menggunakan Metode Rapid Upper Limb Assessment (RULA) pada Pekerja Pencantingan di Tatsaka Batik Banyuwangi,” *R eslaj Relig. Educ. Soc. Laa Roiba J.*, vol. 6, no. 11, pp. 5175–5189, 2024, doi: 10.47476/reslaj.v6i11.3924.
[5] S. Siswiyanti *et al.*, “Kombinasi Postur Kerja pada Pewarnaan Batik Colet dengan Analisa Rula (Rapid Upper Limb Assessment),” *Eengineering*, vol. 14, no. 2, pp. 140–150, 2023.
[6] E. Muslimah, H. Choirunnisa, H. Munawir, R. Danang, and A. Putro, “Integration of Quality Function Deployment (QFD) and Ergonomic Work Posture Analysis to Redesign the Dyeing Table at Batik Mahkota Laweyan,” vol. 23, no. 2, pp. 118–132, 2025.
[7] D. Herwanto and A. Suzianti, “Development of Workplace Design Framework for Manufacturing Small and Medium-Sized Enterprises in Indonesia,” vol. 16, no. 3, pp. 535–568, 2023.
[8] D. Herwanto and K. Komarudin, “Workplace design in Indonesian manufacturing small and medium-sized enterprises : Review and further research,” vol. 30, no. 1, pp. 115–126, 2024, doi: 10.30657/pea.2024.30.11.

[9] M. Farid, R. F. Mualief, and O. Adiyanto, "Work Systems in A Metal Casting Company Using MEAD Approach," vol. 27, no. 2, pp. 162–176, 2025.
[10] F. Ma'ruf, M. Rowi, and A. Kristanto, "Application of Macro-Ergonomic Analysis and Design (MEAD) to Optimize Make-to-Order Production Systems in the Laundry Machine Industry," vol. 27, no. 1, pp. 21–32, 2026.
[11] P. N. Zincume and M. Maier, "Human - centred SME factories : the future of work in SMEs under industry 5 . 0," *Futur. Bus. J.*, 2025, doi: 10.1186/s43093-025-00553-3.
[12] M. Trstenjak, A. Benešova, T. Opetuk, and H. Cajner, "Human Factors and Ergonomics in Industry 5 . 0 — A Systematic Literature Review," *Appl. Sci.*, vol. 15, pp. 1–53, 2025.
[13] S. Hermawati, R. Correa, M. Mohan, and G. Lawson, "Defining human-centricity in Industry 5 . 0 and assessing the readiness of ergonomics / human factors communities in UK," *Ergonomics*, vol. 68, no. 6, pp. 857–876, 2025, doi: 10.1080/00140139.2024.2343947.
[14] Z. Leila, B. Brian, A. M. Ben, R. Erwin, and S. Sergio, "Opportunities and Barriers for Implementing Human-centric Manufacturing in SMEs.pdf," vol. 253, no. 253, pp. 1452–1461, 2025.
[15] J. Nazarejova, Z. Soltysova, and T. Rudeichuk, "Requirements and Barriers for Human-Centered SMEs," *Sensors*, vol. 24, no. 4681, pp. 1–21, 2024.
[16] M. I. Anshori, C. Pao, and S. Lek, "TOWARDS INDUSTRY 5 . 0 ; A HUMAN-CENTRIC CYBER-PHYSICAL PRODUCTION SYSTEM FOR INDONESIA ' S BATIK SMES," vol. 4, no. 2, pp. 69–84, 2025.
[17] F. Tomelleri, S. Andrea, P. Francesco, and P. Francesco, "Digital ergonomic assessment to enhance the physical resilience of human-centric manufacturing systems in Industry 5," *J. Manuf. Syst.*, vol. 77, no. 77, pp. 246–265, 2024.
[18] International Organization for Standardization., *Ergonomics principles in the design of work systems*, Third., vol. 2016. Geneva, Switzerland, 2016.
[19] M. Trstenjak, A. Benešova, and T. Opetuk, "Human Factors and Ergonomics in Industry 5 . 0 — A Systematic Literature Review," pp. 1–53, 2025.