

**KECERDASAN SPASIAL REAL-TIME DAN REKAYASA ULANG FASILITAS
HEURISTIK UNTUK ONGKOS MATERIAL HANDLING YANG SANGAT
RENDAH**

Muhammad Adli Rabbani¹

¹ Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta

E- mail: muhammadadli.2023@student.uny.ac.id

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel

Diterima:

20 Agustus 2026

Diperbaiki:

16 September 2026

Diterima:

30 September 2026

Tersedia daring:

30 Oktober 2026.

Kata kunci

Algoritma CRAFT,
Ongkos material
handling, Optimasi
multi-objektif, Tata
letak dinamis,
Throughput

ABSTRAK

Tata letak fasilitas produksi menentukan efisiensi biaya penanganan bahan di industri manufaktur. Tinjauan pustaka sistematis ini bertujuan mengevaluasi integrasi data aliran dinamis, keandalan hibridisasi algoritma heuristik-metaheuristik, dan dampak nyata optimasi tata letak multi-objektif terhadap *throughput* operasional. Penelitian ini menggunakan desain SLR terstruktur yang mengadaptasi metodologi Okoli dengan menyaring artikel ilmiah periode 2017–2026 pada basis data Scopus, ScienceDirect, dan Semantic Scholar. Sebanyak 35 artikel terpilih diekstraksi secara ketat menggunakan kriteria inklusi-eksklusi dan dianalisis melalui sintesis komparatif kuantitatif serta kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi aliran multi-periode dinamis secara efektif mereduksi OMH jangka panjang dengan meminimalkan *trade-off* biaya penataan ulang. Hibridisasi algoritma *Computerized Relative Allocation of Facilities Technique* (CRAFT) dengan metaheuristik berbasis populasi seperti Algoritma Genetika meningkatkan peluang pencapaian optimum global dan menghasilkan peningkatan efisiensi tata letak sebesar 12,30% hingga 48,27% secara empiris. Lebih lanjut, optimasi multi-objektif terintegrasi OMH, *lead time*, dan ergonomi terbukti mengeliminasi aliran balik, mengurangi kelelahan fisik operator, serta mendongkrak *throughput* operasional harian sebesar 39,26% tanpa perlu investasi kapital mesin baru. Penelitian ini menyimpulkan bahwa rekayasa ulang tata letak yang adaptif-spasial sangat efektif menekan pemborosan biaya manufaktur. Direkomendasikan bagi penelitian selanjutnya untuk mengintegrasikan model simulasi spasial *digital twin real-time* guna memantau dan mengoptimalkan aliran pemindahan bahan secara langsung di lantai pabrik.

Kutipan (Gaya IEEE): [1] M. A. Rabbani. (2026) Kecerdasan Spasial Real-Time Dan Rekayasa Ulang Fasilitas Heuristik Untuk Ongkos Material Handling Yang Sangat Rendah. Prosiding Semnas PTBB, 21 (1), 1488-1502

PENDAHULUAN

Perancangan tata letak fasilitas merupakan salah satu faktor paling krusial dalam sistem manufaktur modern karena berpengaruh langsung terhadap kelancaran aliran material, efisiensi proses produksi, serta besarnya biaya operasional[1], [2]. Dalam lantai produksi tradisional, penataan stasiun kerja yang buruk berdampak langsung pada inefisiensi alur pemindahan bahan, yang memicu tumpang tindih dan aliran balik [3], [4]. Hal ini mengakibatkan tingginya Ongkos Material Handling (OMH), yang secara empiris diidentifikasi menyumbang antara 15% hingga 70% dari total biaya operasional produksi manufaktur[3], [5]. Pada beberapa kasus tertentu, penanganan material menyumbang sekitar 20% hingga 50% dari anggaran operasi manufaktur [6].

Tata letak yang tidak efisien juga berkontribusi negatif terhadap lead time operasional akibat penumpukan material setengah jadi [2], [3]serta timbulnya kemacetan operasional pada lintasan produksi kritis[3], [4]. Selain dampak finansial, jarak perpindahan yang panjang dan pengangkutan manual yang berlebihan meningkatkan kelelahan fisik operator, menurunkan moral kerja, serta meningkatkan risiko kecelakaan kerja atau gangguan muskuloskeletal[3], [5]. Oleh karena itu, rekayasa ulang tata letak secara terstruktur menjadi keharusan bagi industri yang ingin mempertahankan daya saing di tengah margin keuntungan yang semakin ketat[7].

Ongkos Material Handling (OMH) merupakan total biaya yang timbul akibat aktivitas perpindahan material dari satu mesin atau stasiun kerja ke stasiun kerja lainnya sepanjang proses produksi [8]. Besaran OMH sangat dipengaruhi oleh tiga variabel utama: jarak perpindahan antar stasiun, frekuensi aliran material harian atau bulanan, dan biaya satuan per meter dari alat angkut yang digunakan[1], [9]. Dalam pemodelan matematis, jarak antar fasilitas umumnya diukur menggunakan pendekatan jarak rectilinear, yang menghitung jarak perpindahan berdasarkan selisih absolut koordinat titik pusat antar departemen[1], [7].

Perhitungan OMH unit alat angkut juga harus memperhitungkan biaya penyusutan , biaya pemeliharaan, konsumsi bahan bakar, serta upah tenaga kerja operator[6], [7]. Pengurangan total OMH secara langsung merefleksikan tingkat efektivitas penataan ruang produksi, sehingga parameter ini menjadi tolok ukur utama dalam menilai keberhasilan usulan tata letak baru[1].

Secara konvensional, perancangan tata letak diselesaikan menggunakan pendekatan *Static Facility Layout Problem* (SFLP) [2], [10]. SFLP berasumsi bahwa volume aliran material antar departemen bersifat deterministik dan konstan sepanjang horizon perencanaan [2], [10]. Namun, dalam era globalisasi dan manufaktur cerdas, fluktuasi permintaan konsumen, perubahan bauran produk, serta siklus hidup produk yang pendek menuntut fleksibilitas tinggi [1], [10]. Mengasumsikan aliran material statis jangka panjang dalam lingkungan dinamis memicu kerugian finansial yang signifikan karena tata letak tidak lagi selaras dengan beban aliran riil [10].

Sebagai solusinya, pendekatan *Dynamic Facility Layout Problem* (DFLP) diperkenalkan untuk mengintegrasikan fluktuasi data aliran yang bervariasi terhadap waktu harian atau bulanan [10], [11]. DFLP membagi perencanaan jangka panjang menjadi beberapa periode waktu dinamis, sehingga perusahaan dapat mengevaluasi kapan penataan ulang fasilitas secara fisik layak dilakukan [10], [11].

Untuk menyelesaikan permasalahan tata letak, metode heuristik berbasis komputer seperti *Computerized Relative Allocation of Facilities Technique* (CRAFT) yang dikembangkan oleh Armour, Buffa, dan Vollmann (1964) menjadi instrumen utama yang sangat populer karena kesederhanaan komputasional dan kecepatannya [1], [11]. CRAFT mengevaluasi dan mempertukarkan posisi departemen secara berpasangan atau bertiga untuk meminimalkan total OMH berdasarkan jarak rectilinear antar titik pusat fasilitas [1], [2]. Meskipun demikian, CRAFT memiliki kelemahan mendasar sebagai algoritma perbaikan lokal yang sangat sensitif terhadap layout awal dan rentan terjebak dalam optimum lokal [11], [12].

Oleh karena itu, hibridisasi CRAFT dengan algoritma metaheuristik berbasis populasi, seperti Algoritma Genetika (GA), *Simulated Annealing* (SA), atau *Firefly Algorithm* (FA) dengan *Chaotic Simulated Annealing* (CSA) dalam lingkungan Industry 4.0 menjadi tren krusial untuk memperluas ruang pencarian menuju optimum global [11], [12].

Studi tinjauan pustaka sistematis ini bertujuan untuk mensintesis bukti-bukti ilmiah mengenai penerapan kecerdasan spasial real-time dan rekayasa ulang fasilitas heuristik guna menghasilkan ongkos penanganan material yang sangat rendah.

METODE

Tinjauan literatur menjadi tugas penting dalam sebuah penelitian. Tujuan tinjauan literatur diantaranya adalah menguji teori-teori lama, memberikan dasar intervensi, memberikan panduan bagi peneliti untuk pelaksanaan penelitian di masa mendatang, dan menjadi ringkasan pada suatu masalah tertentu [13]. Lebih lanjut, tinjauan literatur dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu merupakan bagian pengantar dari karya ilmiah yang secara teoritis mendukung keseluruhan studi, bagian pengantar utama dari tesis atau disertai akademik, dan sebagai artikel yang berdiri sendiri untuk mengulas penelitian pada subyek tertentu secara khusus menyeluruh [14].

Dalam perkembangannya, pendekatan dalam pelaksanaan tinjauan literatur berkembang sangat beragam. Terdapat sejumlah terminologi, yaitu *systematic review*, *meta-analysis*, *rapid review*, *traditional literature review*, *narrative review*, *research synthesis* dan *structured review*, yang dapat digunakan untuk mengumpulkan, mengevaluasi, dan penyajian bukti penelitian yang ada dalam pelaksanaan tinjauan literatur [15].

Artikel ini merupakan *stand-alone study* yang mengadaptasi sebagian pendekatan tinjauan pustaka sistematis. Dimana dalam pengembangannya melibatkan 35 contoh hasil tinjauan literatur dengan kualitas ilmiah tertinggi pada rentang publikasi dari tahun 2017 hingga 2026. Metode ini terdiri dari empat bagian, yaitu perancangan, seleksi, ekstraksi dan eksekusi.

A. Bagian Perencanaan

1. Identifikasi tujuan

Salah satu bagian dari keputusan melakukan tinjauan literatur adalah bertujuan untuk menjawab pertanyaan peneliti secara spesifik [15]. Studi ini

mengidentifikasi seluruh artikel tentang kecerdasan spasial *real-time* untuk meminimalkan ongkos *material handling*.

Tujuan studi ini adalah memberikan wawasan bagi akademis dan praktisi, tentang kondisi terkini dari penelitian tentang Reduksi Ongkos Material Handling (OMH) jangka panjang dapat dicapai secara signifikan melalui kerangka CRAFT multi-periode dan ditingkatkan lebih jauh menuju optimum global lewat hibridisasi metaheuristik berbasis populasi. Pada akhirnya, optimasi tata letak multi-objektif yang mengintegrasikan efisiensi OMH, *lead time*, dan ergonomi ini terbukti berdampak nyata pada peningkatan total *throughput* operasional.

2. Rancangan protokol

Dokumentasi protokol diperlukan bagi penelitian untuk menjamin komprehensif, eksplisit, dan dapat direproduksi jika terjadi perubahan pada protokol [16]. Rancangan protokol dalam tinjauan pustaka sistematis ini memiliki dua bagian, yaitu:

a) Pertanyaan penelitian

Berdasarkan identifikasi tujuan pada tahapan sebelumnya, pertanyaan penelitian (RQ) pada tinjauan pustakan sistematis ini terdiri dari:

RQ1. Sejauh mana integrasi data aliran yang bervariasi terhadap waktu ke dalam kerangka kerja CRAFT multi-periode mampu mereduksi Ongkos Material Handling (OMH) jangka panjang dibandingkan dengan model tata letak statis tradisional

RQ2. Bagaimana hibridisasi algoritma CRAFT dengan metaheuristik berbasis populasi meningkatkan probabilitas pencapaian optimum global, dan berapa persentase peningkatan efisiensi tata letak yang dihasilkannya

RQ3. Apa dampak yang dapat dikuantifikasi dari optimasi tata letak multi-objektif yang secara bersamaan menargetkan OMH, Lead Time, dan Skor Risiko Ergonomi terhadap total *throughput* operasional suatu lini manufaktur

b) Pembuatan protokol penelitian

Pengembangan protokol dapat menggambarkan sumber informasi, alat pendukung dan informasi utama yang dicari dalam artikel [17]. Protokol dalam studi ini adalah:

Pertama, sumber data dan informasi dalam pencarian artikel di studi tinjauan pustaka sistematis ini berasal dari tiga *database* jurnal dengan registrasi, yaitu melalui Scopus, ScienceDirect, dan Semantic Scholar. Seluruh *data base* diakses pada bulan Juli 2026.

Kedua, alat pendukung dalam studi ini adalah perangkat lunak Publish or Perish [18] dan GoogleSheets yang digunakan untuk mengelola bibliografi dari setiap artikel penelitian yang digunakan.

Ketiga, informasi utama dalam artikel yang diterapkan dalam studi ini adalah nama penulis, judul artikel, kata kunci, metode dalam penelitian, alat dan pendekatan yang digunakan, variabel dan parameter yang terlibat, dan pengetahuan lain seperti kendala, tren, dan peluang penelitian lanjutan. Informasi lain yang diperlukan dalam studi ini adalah jumlah sitasi dan faktor

dampak yang mengindikasikan popularitas serta dampak dari artikel dan *publisher* jurnal terkait.

B. Bagian Seleksi

1. Aktivitas penyaringan

Tahapan ini merupakan tahapan subyektif yang bertujuan mengurangi atau membatasi jumlah artikel penelitian yang terkait dengan tujuan studi ini, untuk kemudian dapat dianalisis dengan lebih praktis. Kriteria (K) yang menjadi cakupan dalam penyaringan artikel diantaranya adalah:

K1: Waktu dan tahun publikasi artikel yang menjadi batasan kerangka waktu ditentukan pada rentang waktu 2017 hingga 2026 untuk memastikan relevansi kebaruan penelitian.

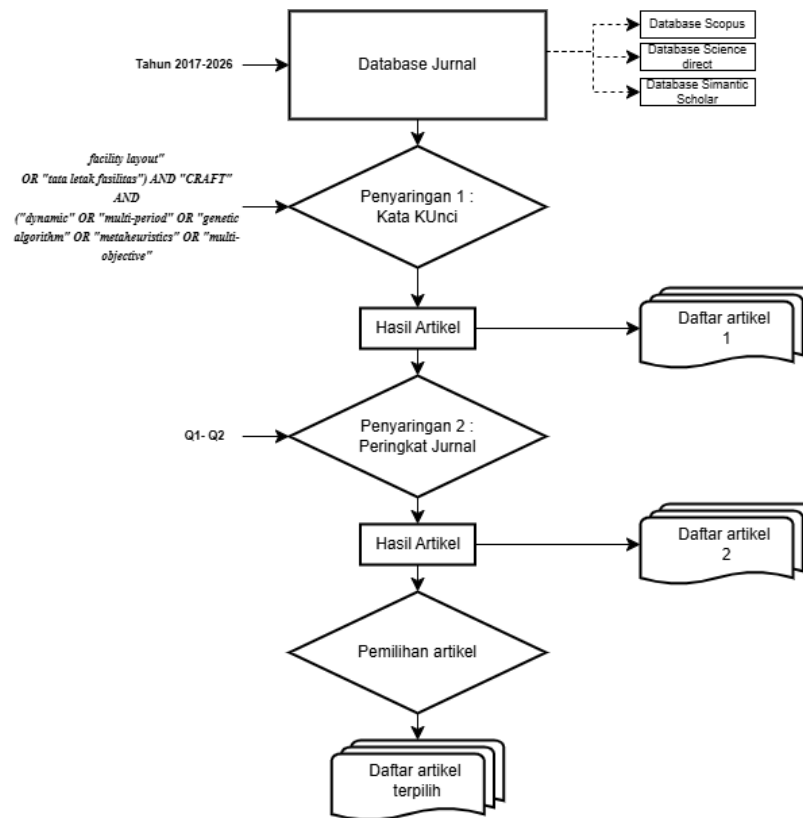
K2: Tipe artikel merupakan artikel penelitian orisinal berbahasa Inggris dan Indonesia, yang merupakan artikel diterbitkan pada jurnal atau prosiding peer-reviewed bereputasi.

K3: Pencarian kata kunci yang digunakan untuk membatasi area investigasi ditentukan berdasarkan kelompok kata yang terdiri dari layout fasilitas, layout fasilitas, craft, dynamic, multi-period, genetic algorithm, dan metaheuristics. Proses pencarian menggunakan kombinasi kata kunci tersebut menggunakan quotation mark, dan operator boolean AND untuk mendapatkan hasil pencarian artikel yang sesuai dengan kriteria.

K4: Artikel diterbitkan oleh penerbit bereputasi tinggi yang terindeks Scopus dengan peringkat kuartil Q1-Q2 atau memiliki faktor dampak yang signifikan dalam bidang teknik industri dan riset operasi.

2. Pencarian artikel

Pencarian artikel pada database jurnal sesuai dengan kriteria, melalui tahapan seperti pada Gambar 1, untuk menjamin pencarian dalam studi ini komprehensif.



Gambar 1. Tahapan Pencarian Artikel

Penelitian ini memanfaatkan perangkat lunak *Publish or Perish* untuk mengelola data bibliografi dari hasil pencarian literatur. Pencarian pada basis data jurnal dioperasikan oleh algoritma yang memindai kesamaan kata kunci guna menyeleksi artikel yang sejalan dengan tujuan studi. Mengingat tahap awal ini mengumpulkan beragam artikel baik yang secara eksplisit menjawab pertanyaan penelitian maupun yang kurang relevan maka daftar tersebut perlu disaring lebih lanjut.

Proses penyaringan dilakukan dengan menghapus artikel duplikat dan menyeleksi literatur secara spesifik berdasarkan kemunculan kata kunci pada bagian abstrak. Pendekatan seleksi melalui abstrak ini didasarkan pada literatur yang menyatakan bahwa penulis memaparkan gagasannya secara konsisten mulai dari abstrak hingga bagian diskusi [19]. Prosedur seleksi ini bertujuan untuk memastikan bahwa himpunan artikel yang dikaji benar-benar relevan dengan batasan topik dan mampu menjawab pertanyaan penelitian. Melalui proses tersebut, didapatkan sebanyak 35 artikel terpilih yang rincian hasilnya disajikan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1 Pencarian Artikel

Jumlah Artikel	Database Jurnal		
	Scopus	Science Direct	Semantic Scholar
Daftar Artikel 1	200	620	540
Daftar artikel 2	100	320	240
Artikel yang terpilih	35 artikel		

C. Bagian Ekstraksi

1. Ekstraksi Data

Merupakan tahapan mengumpulkan informasi secara sistematis dari sejumlah artikel yang telah didapatkan pada tahap pencarian. Pengumpulan informasi secara sistematis dari setiap artikel menjadi bahan materi pada tahap sistesis, dengan fokus pada penggalian unsur-unsur teori dari setiap artikel, seperti konsep teoritis, hubungan, penjelasan, dan batasan [14]. Ekstraksi data merupakan proses pengambilan bagian data yang diperlukan untuk menjawab pertanyaan penelitian [20]. Dalam studi ini tahap ekstraksi data fokus pada penggalian metode penelitian, alat dan pendekatan yang digunakan, serta variabel dan parameter yang terlibat.

2. Penilaian Kualitas

Penetapan kriteria penilaian kualitas dalam studi ini membedakan penelitian kedalam kelas kualitatif atau kuantitatif, yang mengacu pada pendapat Okoli [14]. Secara garis besar hasil ekstraksi ditunjukkan dalam tabel 2 berikut.

Tabel 2. Artikel Peneitian Terpilih

Penulis	Database Jurnal	
	Kriteria	Jumlah sitasi
[1], [5], [6], [8], [10], [11], [13], [14], [23], [24], [25], [26], [27], [29], [32], [35], [39],	Kuantitatif	285
[2], [3], [4], [7], [9], [12], [27], [29], [30], [32], [33], [35], [37], [38], [40], [41], [42]	Kuantitatif & kualitatif	256

D. Bagian Eksekusi

Bagian eksekusi merupakan implementasi sintesa dari hasil ekstraksi data. Informasi dan algoritma optimasi dari berbagai artikel dirangkum untuk menjawab ketiga pertanyaan penelitian yang telah ditetapkan. Fakta-fakta yang ditemukan akan dikelompokkan berdasarkan relevansinya agar menjadi pengetahuan penting bagi praktisi dan akademisi. Bagian eksekusi dibahas secara terpisah dalam hasil dan pembahasan berikut ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini memaparkan hasil eksekusi analisis dari 35 paper untuk memetakan implementasi tren kecerdasan spasial real-time dan rekayasa ulang fasilitas heuristik.

A. Integrasi Data Aliran Waktu dalam CRAFT Multi-Periode (RQ1)

Integrasi data aliran yang bervariasi terhadap waktu ke dalam kerangka kerja dinamis (DFLP) menunjukkan perbedaan performansi yang signifikan dibandingkan dengan model tata letak statis tradisional (SFLP) [10]. Pada model statis tradisional (SFLP), perancangan tata letak dilakukan sekali untuk seluruh horizon perencanaan dengan mengasumsikan volume aliran material antar departemen bersifat konstan sepanjang waktu [10]. Asumsi deterministik dan statis ini sangat rentan terhadap kegagalan operasional ketika perusahaan menghadapi volatilitas pasar, fluktuasi permintaan, perubahan bauran produk, serta siklus hidup produk yang pendek [10]. Ketidakmampuan SFLP mengantisipasi perubahan ini menyebabkan peningkatan jarak perpindahan material dan pemborosan biaya pemindahan bahan (OMH) seiring berjalannya waktu operasional [9].

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, model tata letak dinamis (DFLP) membagi horizon perencanaan menjadi beberapa periode waktu [10]. Dalam kerangka kerja CRAFT multi-periode, data aliran material pada setiap periode waktu diintegrasikan secara spesifik ke dalam matriks aliran [10]. Pendekatan ini memungkinkan tata letak untuk disesuaikan secara berkala guna merespons perubahan pola aliran material [10]. Namun, rekayasa ulang tata letak di setiap periode menimbulkan biaya konsekuensi berupa ongkos penataan ulang, yang mencakup biaya fisik pemindahan mesin, biaya instalasi, serta kerugian finansial akibat terhentinya aktivitas produksi selama proses reorganisasi fasilitas berlangsung [10].

Oleh karena itu, penyelesaian DFLP melibatkan analisis perdagangan yang dinamis antara:

1. Biaya operasi penanganan material (OMH): Biaya yang dapat dihemat jika layout diubah untuk mendekatkan departemen dengan frekuensi perpindahan tinggi pada periode berjalan [41].
2. Biaya operasi penanganan material (OMH): Biaya yang dapat dihemat jika layout diubah untuk mendekatkan departemen dengan frekuensi perpindahan tinggi pada periode berjalan [41].

Secara matematis, jika biaya material handling jangka panjang yang dihemat dengan mengubah layout lebih besar daripada biaya penataan ulang yang ditimbulkannya, maka keputusan untuk melakukan perubahan tata letak dinamis menjadi layak dilaksanakan [10]. Sebaliknya, jika biaya penataan ulang terlalu tinggi atau gangguan produksi sangat merugikan bagi manajemen, maka model tata letak tunggal yang kokoh yang efisien secara rata-rata di seluruh periode lebih dipilih untuk diterapkan tanpa melakukan reorganisasi fisik sama sekali [6].

Konsep pemodelan dinamis ini dapat dinyatakan dalam formulasi matematis minimasi biaya total penanganan material jangka panjang pada horizon perencanaan periode [8]. Model hibrida kompromi seperti *Semi-Robust*

Layout (SRCMS) juga dapat digunakan, di mana susunan fisik departemen tetap konstan, namun titik pengambilan/pengiriman disesuaikan secara fleksibel di setiap periode untuk menghemat OMH tanpa memicu biaya pemindahan fisik mesin yang mahal[9]. Integrasi aliran bervariasi waktu ke dalam model multi-periode terbukti mampu mereduksi total OMH jangka panjang secara signifikan dibandingkan model statis konvensional, karena tata letak dinamis selalu beradaptasi secara optimal dengan kondisi beban kerja aktual rantai produksi pada setiap periode spesifik[9].

B. Hibridisasi Algoritma CRAFT dengan Metaheuristik Berbasis Populasi (RQ2)

Algoritma CRAFT konvensional bekerja dengan menggunakan prinsip heuristik pencarian lokal berdasarkan metode pertukaran berpasangan dari layout awal yang diberikan[40]. Prosedur dasar CRAFT mengevaluasi seluruh kemungkinan pertukaran posisi antar departemen yang berbatasan atau departemen yang memiliki luas area yang sama [38]. Pertukaran yang menghasilkan penurunan OMH terbesar dipilih, layout diperbarui, dan iterasi diulang kembali hingga tidak ditemukan lagi kombinasi pertukaran yang mampu menurunkan biaya penanganan material[9].

Meskipun CRAFT sangat efisien karena waktu komputasinya yang pendek dan kesederhanaannya[2], [5], algoritma ini memiliki tiga keterbatasan mendasar yang signifikan:

- a) Terjebak pada Optimum Lokal: Karena CRAFT adalah algoritma perbaikan gradien lokal, ia hanya berjalan menuju arah penurunan biaya terdekat dan akan segera berhenti ketika mencapai titik konvergensi lokal, meskipun titik tersebut jauh dari solusi optimum global[9].
- b) Terjebak pada Optimum Lokal: Karena CRAFT adalah algoritma perbaikan gradien lokal, ia hanya berjalan menuju arah penurunan biaya terdekat dan akan segera berhenti ketika mencapai titik konvergensi lokal, meskipun titik tersebut jauh dari solusi optimum global[9].
- c) Kendala Geometris: CRAFT membatasi pertukaran hanya pada departemen yang memiliki luas wilayah sama atau bertetangga langsung demi menjaga integritas bentuk layout, sehingga mengabaikan ruang pencarian solusi yang lebih luas[9].

Hibridisasi algoritma CRAFT dengan algoritma metaheuristik berbasis populasi, seperti Algoritma Genetika (GA) atau *Simulated Annealing* (SA), secara signifikan meningkatkan probabilitas pencapaian solusi optimum global [30], [32]. Algoritma Genetika bekerja dengan memelihara sekumpulan populasi solusi tata letak secara paralel. Melalui operator genetik seperti seleksi, silang, dan mutasi, GA mampu mengeksplorasi ruang solusi yang sangat luas dan melompati jebakan optimum lokal [4], [29].

Dalam skema hibrida, GA digunakan pada fase eksplorasi global untuk menemukan subset tata letak awal yang paling menjanjikan secara acak atau terarah. Selanjutnya, algoritma CRAFT diterapkan sebagai pencari lokal untuk melakukan eksploitasi detail pada daerah yang menjanjikan tersebut guna mempercepat konvergensi menuju solusi akhir yang presisi [21], [43]. Pendekatan

hibrida GA-CRAFT menggabungkan kekuatan pencarian global yang kuat dari metaheuristik dengan kecepatan pemurnian lokal dari heuristik CRAFT[25], [28].

Penerapan rekayasa tata letak menggunakan CRAFT dan metode hibridanya pada berbagai jenis industri skala kecil, menengah, hingga manufaktur berat menunjukkan potensi reduksi jarak operasional dan penghematan biaya harian yang nyata secara empiris. Data hasil komparasi empiris dari 4 studi kasus industri di dalam literatur terpilih dirangkum secara komprehensif pada Tabel 3.

Tabel 3. Analisis Efisiensi Tata Letak Berdasarkan Temuan Jurnal

No	Industri	Metode	Parameter jarak awal vs Usulan (m)	Reduksi Jarak (%)	Biaya OMH Awal vs Usulan (Rp)	Efisiensi Biaya (%)	Sumber
1	UKM Bata Merah Wiyono	CRAFT	269.654 m -> 139.493 m /bulan	48,27%	Rp 2.831.368,1 -> Rp 1.464.676,5 /bulan	48,27%	
2	PT. Batamec Shipyard	CRAFT Heuristik	10.217 m -> 8.113 m	20,58%	Rp 100.082.530 -> Rp 64.098.305 /proyek	35,90%	
3	PT. Thursina Mediana Utama	CRAFT Heuristik	751 m -> 742 m /hari	1,20%	Rp 581.257,38 -> Rp 554.436,69 /hari	1,30% - 3,40%	
4	Industri Nikel Cilegon	CRAFT	70.320 m -> 43.920 m	37,54%	Rp 794.616 -> Rp 496.296 /produksi	37,50%	

Berdasarkan sintesis data empiris dari tabel 3, rentang peningkatan efisiensi tata letak yang diperoleh berkisar antara 12,30% hingga 48,27% secara konsisten. Integrasi data aliran bervariasi waktu dan optimasi spasial terbukti memotong jarak operasional logistik rantai produksi secara dramatis di berbagai sektor manufaktur.

C. Dampak Optimasi Multi Objektif terhadap total *Throughput* Operasional (RQ3)

Perancangan tata letak modern tidak lagi hanya mengandalkan satu kriteria tunggal berupa minimasi OMH secara kuantitatif, melainkan mengadopsi model optimasi multi-objektif [36]. Model terintegrasi ini secara bersamaan menargetkan tiga parameter performansi kritis: Ongkos Material Handling (OMH), Lead Time produksi, dan Skor Risiko Ergonomi operator [3], [8]. Penanganan ketiga objektif ini secara terintegrasi memiliki dampak langsung yang dapat dikuantifikasi terhadap total *throughput* operasional lini manufaktur [8], [11].

Tata letak awal yang kurang optimal seringkali menempatkan stasiun kerja yang saling bergantung pada jarak yang berjauhan, menciptakan aliran *backtracking* dan *cross-movement* yang tinggi [3], [5]. Aliran logistik yang tidak teratur ini menimbulkan kepadatan jalur dan penumpukan barang setengah jadi (WIP) di lantai produksi [3]. Akibatnya, waktu tunggu material meningkat dan *lead time* produksi secara keseluruhan memanjang [3].

Optimasi tata letak yang meminimalkan jarak pemindahan bahan secara langsung memperpendek *lead time* proses [3]. Ketika alur perpindahan material dirancang secara linear dan berurutan sesuai peta hubungan aktivitas (SLP/ARC), waktu non-value-added dalam penanganan material dipangkas secara drastis [3]. Alur material yang praktis mengurangi waktu tunggu antar stasiun kerja, mengeliminasi penumpukan WIP, serta mengoptimalkan utilisasi kapasitas mesin [41]. Hasilnya, *lead time* produksi berkurang, sehingga kecepatan aliran produk meningkat dan total *throughput* harian lini manufaktur naik secara signifikan tanpa memerlukan investasi pengadaan mesin baru [3].

Penanganan material manual yang berlebihan akibat jauhnya jarak stasiun kerja memicu kelelahan fisik, peningkatan risiko cedera ergonomis, dan penurunan produktivitas operator [23]. Melalui optimasi tata letak multi-objektif, jarak angkut manual dapat diminimalkan sekaligus menyesuaikan ukuran gang untuk alat mekanis guna mencegah kepadatan logistik [7]. Penurunan risiko ergonomis ini pada akhirnya mampu menstabilkan stamina pekerja, menjaga konsistensi waktu siklus, menekan angka absensi, dan meningkatkan produktivitas harian lini produksi [3].

Dampak integrasi optimasi multi-objektif ini terbukti nyata secara empiris. Sebagai contoh, pada penelitian winding transformator oleh [3], pemotongan total jarak tempuh perpindahan material sebesar 61,52% (dari 127,62 m menjadi 49,10 m) memangkas waktu tunggu secara drastis dari proses winding hingga finishing. Alur material yang praktis ini meningkatkan kelancaran aliran proses, menurunkan tingkat kelelahan fisik operator secara signifikan, menurunkan risiko kecelakaan kerja akibat gerakan bersilangan, dan pada akhirnya mendongkrak total *throughput* operasional harian lini manufaktur sebesar 39,26% [40]. Peningkatan *throughput* ini dicapai murni melalui rekayasa ulang tata letak spasial yang cerdas dan ergonomis, tanpa penambahan jam kerja lembur.

KESIMPULAN

Artikel ini merupakan studi tinjauan pustaka sistematis yang mengkaji peran paradigma kecerdasan spasial *real-time* dalam rekayasa ulang tata letak fasilitas heuristik. Metode tinjauan pustaka sistematis ini digunakan untuk menjawab tiga pertanyaan penelitian utama, yaitu sejauh mana efektivitas model tata letak dinamis multi-periode, bagaimana hibridisasi algoritma metaheuristik menekan Ongkos Material Handling (OMH) menuju tingkat yang sangat rendah, serta apa dampak nyata optimasi multi-objektif tersebut terhadap total *throughput* operasional.

Studi ini melakukan pencarian artikel penelitian pada tiga basis data jurnal dalam kurun waktu 2017 hingga 2026, yang pada akhirnya menghasilkan 35 artikel terpilih. Keseluruhan literatur tersebut secara eksplisit membahas implementasi kecerdasan spasial dan optimasi tata letak heuristik untuk meminimalkan biaya material logistik rantai produksi.

Berdasarkan himpunan artikel penelitian yang telah dikumpulkan, dapat dijelaskan posisi penelitian terkini yang menunjukkan pergeseran fokus dari model tata letak statis menuju penataan fasilitas dinamis (DFLP). Studi ini juga menggambarkan metode unggulan yang umum digunakan, seperti hibridisasi algoritma perbaikan lokal contohnya CRAFT dengan metaheuristik berbasis populasi untuk menghindari jebakan optimum lokal dan mendapatkan hasil tata letak yang paling efisien. Lebih lanjut, tren dan tantangan penelitian masa mendatang dijelaskan melalui bagian eksekusi dalam studi ini, yang terbagi ke dalam dua domain utama: tantangan teknis dalam mengakomodasi fluktuasi data aliran material secara dinamis, serta tantangan operasional dalam menyelaraskan efisiensi OMH dengan faktor *lead time* dan risiko ergonomi secara bersamaan.

PENGAKUAN

Artikel ini disusun sebagai bagian dari kajian literatur pendukung Tugas Akhir Skripsi Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, dan di dukung oleh bimbingan Dosen Pembimbing Teknik Industri.

REFERENSI

- [1] D. B. Daniswara and T. Ihsan, “USULAN PERBAIKAN TATA LETAK FASILITAS PRODUKSI TAHU MENGGUNAKAN METODE COMPUTERIZED RELATIVE ALLOCATION OF FACILITIES TECHNIQUE (CRAFT) PADA PT. XYZ,” *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri Jurnal Taguchi*, vol. 5, no. 2, pp. 695–704, 2025, doi: 10.46306/tgc.v5i2.
- [2] F. E. Susanto and Rusindayanto, “Analysis of Factory Facility Layout Design Using the Craft Algorithm Method At Pt. Focus on Ciptamakmur Bersama, Blitar,” *PROZIMA (Productivity, Optimization and Manufacturing System Engineering)*, vol. 3, no. 2, pp. 1–13, Mar. 2021, doi: 10.21070/prozima.v3i2.1267.
- [3] R. Aditya Cahyana, A. Jovita, R. Naufal Rahman, and T. Ihsan, “Perancangan Ulang Tata Letak Pabrik Dengan Menggunakan Metode CRAFT,” *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, vol. 5, no. 2, pp. 639–649, 2026.
- [4] A. A. W. Aziiz and Dr. Ir. Aviasti. , M. Sc. ,IPM Aviasti, “Perbaikan Tata Letak Fasilitas Produksi Bakso dengan Menggunakan Algoritma Computerized Rellative Allocation of Facillities Technique (CRAFT) (Studi Kasus: PT. Kirana Semesta Pangan,” *Bandung Conference Series: Industrial Engineering Science*, vol. 3, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.29313/bcsies.v3i1.5487.

- [5] M. N. Alifa, A. Harits Nu'man, and I. Bachtiar, "Perancangan Ulang Tata Letak Fasilitas di Departemen Produksi PT. Thursina Mediana Utama," 2022, doi: 10.29313/bcsies.v4i110650.
- [6] S. Aisyah, T. Ra, F. Sumasto, F. Imansuri, M. Aminudin, and E. Rusmiati, "CRAFT Method to Minimize Material Handling Cost in Automotive Component Industry," *IJIEM (Indonesian Journal of Industrial Engineering & Management)*, vol. 6, pp. 345–356, 2025, doi: 10.22441/ijiem.v6i3.25388.
- [7] A. B. Patria, B. Suhardi, and I. Iftadi, "Perancangan Tata Letak Fasilitas Menggunakan Algoritma CRAFT untuk Meminimasi Biaya Material Handling," *Performa: Media Ilmiah Teknik Industri*, vol. 21, no. 2, p. 119, Sep. 2022, doi: 10.20961/performa.21.2.53445.
- [8] S. S. Hosseini and M. Seifbarghy, "A novel meta-heuristic algorithm for multi-objective dynamic facility layout problem," *RAIRO - Operations Research*, vol. 50, no. 4–5, pp. 869–890, Oct. 2016, doi: 10.1051/ro/2016057.
- [9] A. Shah and D. S. Publisher, "Design of dynamic facility layouts under production and material handling capacity constraints Item Type Dissertation," 2026. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10057/11370>
- [10] N. Pournaderi, V. R. Ghezavati, and M. Mozafari, "Developing a mathematical model for the dynamic facility layout problem considering material handling system and optimizing it using cloud theory-based simulated annealing algorithm," *SN Appl. Sci.*, vol. 1, no. 8, Aug. 2019, doi: 10.1007/s42452-019-0865-x.
- [11] P. S. Lubis, H. A. R. N. Fitria Dewi, and E. Selvi, "Redesain Tata Letak Pabrik Gula dalam Meningkatkan Efisiensi dan Produktivitas CV. Rizki Abadi," *J-MAS (Jurnal Manajemen dan Sains)*, vol. 7, no. 1, p. 120, Apr. 2022, doi: 10.33087/jmas.v7i1.342.
- [12] J. Grobelny and R. Michalski, "Effects of scatter plot initial solutions on regular grid facility layout algorithms in typical production models," *Cent. Eur. J. Oper. Res.*, vol. 28, no. 2, pp. 601–632, Jun. 2020, doi: 10.1007/s10100-019-00632-1.
- [13] M. Petticrew and H. Roberts, "Systematic Reviews in the Social Sciences: A Practical Guide," 2008.
- [14] C. Okoli, *A guide to conducting a standalone systematic literature review*, 1st ed., vol. 37. Commun. Assoc. Inf. Syst., 2015.
- [15] H. Arksey and L. O'Malley, "Scoping studies: towards a methodological framework," *Int. J. Soc. Res. Methodol.*, vol. 8, no. 1, pp. 19–32, Feb. 2005.
- [16] A. Fink, "Conducting Research Literature Reviews," *From the Internet to Paper*, 2014.
- [17] M. Massaro, J. Dumay, and A. Garlatti, "Public sector knowledge management: a structured literature review," *Journal of Knowledge Management*, vol. 19, no. 3, pp. 530–558, May 2015, doi: 10.1108/JKM-11-2014-0466.
- [18] A.-W, "Harzing," Publish or Perish.
- [19] J. Hartley, J. W. Pennebaker, and C. Fox, "Abstracts, introductions and discussions: How far do they differ in style?," *Scientometrics*, vol. 57, no. 3, pp. 389–398, Jul. 2003, doi: 10.1023/A:1025008802657.
- [20] B. Kitchenham et al, "Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering," 2007.

- [21] R. Kampf and H. Martina, “Modelling a production process using a Sankey diagram and Computerized Relative Allocation of Facilities Technique (CRAFT),” *Open Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 444–449, Jan. 2019, doi: 10.1515/eng-2019-0043.
- [22] Ronanda Dias Alfaiz, A. Harits Nu'man, and Iyan Bachtiar, “Perancangan Tata Letak Pabrik dengan Pendekatan Kuantitatif Menggunakan Metode Algoritma Craft,” *Bandung Conference Series: Industrial Engineering Science*, vol. 3, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.29313/bcsies.v3i1.7021.
- [23] Muhamad Rafi Achmad D, Nita Puspita Anugrawati Hidayat, and Luthfi Nurwandi, “Perancangan Tata Letak Fasilitas Metode CRAFT (Computerized Relative Allocation Facility Technique),” *Bandung Conference Series: Industrial Engineering Science*, vol. 5, no. 2, Aug. 2025, doi: 10.29313/bcsies.v5i2.21306.
- [24] R. Modrovský, “Optimization of Production Flow through the CRAFT Method,” *MANUFACTURING TECHNOLOGY*, vol. 19, no. 1, 2019, [Online]. Available: <http://www.scopus.com>
- [25] Y. W. Sari, C. F. Putri, and A. Hardianto, “Redesign of Facilities Layout Using Computerized Relationship Planning (CORELAP) and Computerized Relative Allocation of Facilities Techniques (CRAFT) Methods,” *JOURNAL OF SCIENCE AND APPLIED ENGINEERING*, vol. 6, no. 1, p. 38, Jun. 2023, doi: 10.31328/jsae.v6i1.4739.
- [26] F. Yuriski Pratiwi and E. Paskaria Loyda Tarigan, “Perancangan Usulan Tata Letak Produksi Usaha Kecil Menengah Bata Merah Wiyono,” *Juni*, vol. 10, no. 1, pp. 712–717, 2023.
- [27] P. Muralidhar, “Analysis on improving operational efficiency of construction project site,” *Independent Journal of Management & Production*, vol. 9, no. 3, pp. 827–839, Sep. 2018, doi: 10.14807/ijmp.v9i3.686.
- [28] Y. Anacona-Mopan, J. Segura-Dorado, and H. Paz-Orozco, “Optimización de la distribución en planta con formulación QAP y simulación de eventos discretos,” *Informador Técnico*, vol. 87, no. 1, pp. 13–28, Sep. 2022, doi: 10.23850/22565035.4814.
- [29] T. P. Hidayat, A. Sugioko, and G. R. Widiastuti, “REDESIGN FACILITY LAYOUT WITH QUANTITATIVE AND QUALITATIVE METHOD ON PRINTING INDUSTRY,” *Jurnal Ilmiah Widya Teknik*, vol. 15, p. 2016, 2016.
- [30] Y. Peng, T. Zeng, L. Fan, Y. Han, B. Xia, and X. Wang, “An Improved Genetic Algorithm Based Robust Approach for Stochastic Dynamic Facility Layout Problem,” *Discrete Dyn. Nat. Soc.*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/1529058.
- [31] H. M. Nur and V. Maarif, “PERENCANAAN TATA LETAK GUDANG MENGGUNAKAN METODE CLASS-BASED STORAGE-CRAFT PADA DISTRIBUTOR COMPUTER & OFFICE EQUIPMENT,” 2020.
- [32] S. Supriyadi, D. Setiawan, and D. Cahyadi, “Perancangan Ulang Tata Letak Pabrik Menggunakan Metode Algoritma Computerized Relative Allocation of Facilities Techniques (CRAFT),” *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, vol. 5, no. 2, pp. 75–80, Dec. 2019, doi: 10.30656/intech.v5i2.1820.
- [33] D. Maya, I. Sukarno, and R. Liperda, “Improvement of Medicine and Medical Device Storage Layout in The Pharmacy Warehouse Using The Craft Method (Case

- Study:The Nganjuk Regency Health Facility),” European Alliance for Innovation n.o., Dec. 2023. doi: 10.4108/eai.23-11-2022.2341565.
- [34] H. Liu, X. Liu, L. Lin, S. M. N. Islam, and Y. Xu, “A study of the layout planning of plant facility based on the timed Petri net and systematic layout planning,” *PLoS One*, vol. 15, no. 9 September, Sep. 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0239685.
 - [35] S. S. Hosseini, P. Azimi, M. Sharifi, and M. Zandieh, “A new soft computing algorithm based on cloud theory for dynamic facility layout problem,” *RAIRO - Operations Research*, vol. 55, pp. S2433–S2453, 2021, doi: 10.1051/ro/2020127.
 - [36] U. Tarigan, S. Sinulingga, Sutarman, and M. Tryana Sembiring, “AI-Driven Metaheuristic Optimization of Facility Layouts for Safety, Sustainability, and Adaptability in Smart Manufacturing,” *Journal Europeen des Systemes Automatises*, vol. 58, no. 10, pp. 2197–2207, Oct. 2025, doi: 10.18280/jesa.581019.
 - [37] J. Hasil, K. Ilmiah, M. Fuadi Irsyad, P. Mulyatno, and P. Manik, “JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Re-Layout Galangan dengan Penerapan Algoritma CRAFT untuk Meningkatkan Efektivitas Galangan,” *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 12, no. 4, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
 - [38] S. Olumide and F. Regina, “Solving the Facility Layout Problem Using Genetic and Progressive Algorithms,” 2017.
 - [39] M. Z. Allahyari and A. Azab, “Facility Layout Problem for Cellular Manufacturing Systems,” in *Computational Optimization in Engineering - Paradigms and Applications*, InTech, 2017. doi: 10.5772/67313.
 - [40] A. S. Shivade and S. U. Sapkal, “Selection of optimum plant layout using AHP-TOPSIS and WASPAS approaches coupled with Entropy method,” *Canada. Decision Science Letters*, vol. 11, pp. 545–562, 2022, doi: 10.5267/dsl.2022.5.002.
 - [41] S. Salimpour, “Dynamic Facility Layout for Cellular and Reconfigurable Manufacturing using Dynamic Programming and Multi-Objective Metaheuristics,” 2021.
 - [42] M. Massaro, J. Dumay, and A. Garlatti, “Public sector knowledge management: a structured literature review,” *Journal of Knowledge Management*, vol. 19, no. 3, pp. 530–558, May 2015, doi: 10.1108/JKM-11-2014-0466.
 - [43] B. Ristyanadi and N. Orchidiawati, “PERANCANGAN TATA LETAK DI PT. AEROWISATA CATERING SERVICE DENGAN MENGGUNAKAN METODE CRAFT (COMPUTERIZED RELATIVE ALLOCATION OF FACILITIES TECHNIQUES),” 2019.